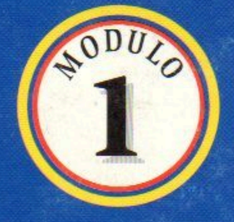
SERIE APRENDER A INVESTIGAR

Ciencia, Tecnología y Desarrollo

Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior
ICFES

Instituto Colombiano de Estudios Superiores de Incolda
ICESI



LUIS JAVIER JARAMILLO

LUIS JAVIER JARAMILLO SIERRA

Serie
APRENDER A INVESTIGAR

Módulo 1
CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y DESARROLLO



INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTO
DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR, ICFES

Subdirección General Técnica y de Fomento

PATRICIA MARTÍNEZ BARRIOS
Directora General

PATRICIA ASMAR AMADOR
Subdirectora General Técnica y de Fomento

MÓNICA IBARRA ROSERO
Jefe División de Fomento (A)

MARÍA JESÚS RESTREPO ALZATE
Coordinadora del Proyecto

Serie: APRENDER A INVESTIGAR
ISBN: 958-9279-11-2 Obra completa
ISBN: 958-9279-12-0 Módulo 1

1ª Edición: 1987
1ª Reimpresión: 1988
2ª Reimpresión: 1991
2ª Edición: 1995
Reimpresión: 1998
3ª Edición: (corregida y aumentada) 1999

Calle 17 Nº 3-40 A.A. 6319
Teléfono: 2819311 - 2834027 - 2834067 - 2435129
Fax: 2845309 - 2834047 - 2845980
Santa Fe de Bogotá

Diseño de carátula, diagramación e impresión:
ARFO EDITORES LTDA.
Carrera 15 Nº 53-86
Tels.: 2355968 - 2175794
Santa Fe de Bogotá, D.C.



INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Serie: APRENDER A INVESTIGAR

Módulos:
1. CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y DESARROLLO
2. LA INVESTIGACIÓN
3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN
5. EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La serie APRENDER A INVESTIGAR ha sido realizada por el ICFES. Para las ediciones anteriores se contó con el siguiente grupo de autores:

CARLOS ESCALANTE A.
Profesor Universidad Nacional de Colombia

HUMBERTO RODRÍGUEZ M.
Profesor Universidad Nacional de Colombia

ALBERTO MAYOR M.
Profesor Universidad Nacional de Colombia

EDUARDO VÉLEZ B.
Investigador Instituto SER de Investigaciones

ÁNGEL FACUNDO D.
Exjefe División de Fomento
Investigativo ICFES

El proyecto de actualización y revisión de la presente edición de la serie APRENDER A INVESTIGAR fue realizado por el ICFES, para lo cual se conformó el siguiente grupo de autores:

Módulo 1:
LUIS JAVIER JARAMILLO

Módulos 3 y 4:
ADONAY MORENO — Universidad San Buenaventura - Cali
YOLANDA GALLARDO DE PARADA — Universidad de Pamplona (N.S.)

Módulos 2 y 5:
MARIO TAMAYO Y TAMAYO — Universidad ICESI - Cali

Instructivos para videos:
LUZ ESTELLA URIBE VÉLEZ — EAFIT - Medellín

Contenido

SERIE APRENDER A INVESTIGAR

Presentación

El Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación ICFES, ha venido desarrollando proyectos que propenden por el mejoramiento de la calidad de la educación superior y la formación del talento humano que sea capaz de asumir el reto que nos impone la educación del siglo XXI.

Dentro de este marco de referencia, la formación de directivos, docentes e investigadores en el tema de la investigación ha sido prioritaria para el ICFES, razón por la cual ha continuado impulsando la divulgación de materiales de gran utilidad para incentivar la práctica investigativa en la educación superior.

La SERIE APRENDER A INVESTIGAR es un material autoinstructivo que ofrece los conceptos, las herramientas y los métodos necesarios para la formulación, perfeccionamiento y diseño de proyectos de investigación.

A las puertas del nuevo milenio, estamos entregando a la comunidad académica una nueva edición actualizada y complementada de la SERIE APRENDER A INVESTIGAR, la cual contribuirá a generar la cultura investigativa, que constituye la base de la educación, la ciencia y la tecnología del país.

PATRICIA MARTÍNEZ BARRIOS
Directora General

Introducción a la serie

El presente programa autoinstruccional denominado APRENDER A INVESTIGAR, contiene algunos de los principales elementos, teóricos y prácticos, sobre conceptos, métodos y técnicas usualmente empleados en el trabajo de investigación científica.

Aprender a Investigar es un proceso largo y complejo, que comprende diversas dimensiones y etapas formativas, algunas de las cuales comienzan, o deben comenzar a desarrollarse, desde los primeros años de vida. Para el grupo de autores del programa, *Aprender a Investigar* no se reduce al estudio y dominio de la metodología general de la investigación científica. *Aprender a Investigar* implica, entre otras cosas, el desarrollo de diversas dimensiones, tales como:

a) *Un espíritu de permanente observación, curiosidad, indagación y crítica de la realidad,* el cual nos permite preguntarnos si aquello que se conoce sobre algo es realmente un conocimiento o si acaso ofrece una mejor explicación del fenómeno o del objeto de estudio. Este espíritu de observación, crítica y creatividad se desarrolla desde los primeros años de vida.

b) *Una sólida formación general y un creciente dominio de los conocimientos sobre un área específica de la realidad,* pues éstos son la base y el punto de partida para poder aportar nuevos conocimientos. Como el cúmulo de información científica es hoy en día tan grande y se encuentra en constante aumento, se hace necesario concentrar la atención en tópicos específicos, pues cada vez es más difícil seguir de cerca y estar al día sobre diversas temáticas y métodos de conocimiento. La formación general y la concentración del interés y aprendizaje permanentes en aspectos particulares de la realidad se ha venido efectuando a través de los diferentes niveles educativos hasta llegar a centrar el interés en un área específica del conocimiento. Esta segunda dimensión, unida al dominio de la metodolo-

gía general de la investigación científica, es otro de los requisitos decisivos para *aprender a investigar*.

c) *La práctica investigativa misma por medio de la cual las teorías, principios, conceptos, métodos y técnicas dejan de ser simples enunciados para convertirse en algo concreto y vivencial,* constituye la tercera condición indispensable. El adagio popular dice que *a nadar se aprende nadando*. De forma semejante, para *aprender a investigar* hay que lanzarse a la práctica investigativa. La teoría sin la práctica es vacía, pero la práctica sin la teoría es ciega. Los conocimientos sobre los contenidos y métodos que se han venido adquiriendo sobre las disciplinas de estudio, y aquellos que se puedan adquirir a través de esta serie sobre metodología general de investigación científica, deben servir como guías iluminadoras de la acción. En la medida de lo posible, para aprender a investigar es necesario integrarse a un equipo de investigación, el cual pueda ser conducido y orientado por la experiencia teórico-práctica de investigadores profesionales que estén en la misma línea de interés investigativo.

El estudio de la metodología general de la investigación científica, junto con ese espíritu indagador y creativo y los conocimientos de los contenidos y métodos de áreas específicas del saber que usted ha venido adquiriendo, así como el deseo de lanzarse pronto a la práctica investigativa, justifica el nombre que se ha dado a la serie: APRENDER A INVESTIGAR.

De otra parte, es importante advertir sobre las ventajas y limitaciones de un programa como éste. En primer lugar, al haber sido escrito dentro de la *metodología de la autoinstrucción*, si bien cuenta con la ventaja de permitir estudiar por cuenta propia, de acuerdo con el tiempo disponible y el ritmo personal de aprendizaje, tiene la limitante de tener que suponer que quien sigue el programa posee los aprendizajes previos requeridos para asimilar los contenidos y el nivel académico adecuado; se cuenta por tanto, básicamente, con la seriedad del estudiante y con el cumplimiento estricto de las diferentes instrucciones del programa.

Es segundo término, debe tenerse en cuenta que la función de un programa como éste es proporcionar los principales conceptos, métodos y técnicas de un proceso de investigación, los cuales son tratados de forma sencilla y resumida. Se presentan en forma sucinta las diferentes discusiones que sobre cada aspecto se han dado en la comunidad científica. Si se desea un conocimiento más profundo, debe necesariamente recurrirse a aquellos textos que analicen cada tópico en toda su complejidad, al investigador, profesor, instructor o tutor.

Propósito, población y objetivos de la serie

El propósito del programa, serie APRENDER A INVESTIGAR, es familiarizar al estudiante con los elementos conceptuales y algunas técnicas básicas que le permitan, en su área de estudio, comenzar a resolver problemas de conocimiento, aplicando la lógica del proceso investigativo utilizando determinados instrumentos básicos. No se trata de proporcionar una información para memorizar sino que ésta debe servir para *orientar la práctica investigativa* del estudiante, dentro de la disciplina científica en la cual se prepara como profesional e investigador.

En este sentido, la serie APRENDER A INVESTIGAR ha sido diseñada para una población de estudiantes de educación superior que se ha iniciado en el conocimiento de los contenidos y métodos básicos de una disciplina científica determinada y que, por tanto, comienza a plantearse y a enfrentar algunos problemas de investigación.

En la situación corriente de nuestras instituciones de educación superior, la *población* objetivo de esta serie son estudiantes que están cursando aproximadamente el quinto semestre de carrera, y que van a tener su primera aproximación a la metodología general de investigación científica.

El **objetivo terminal** de toda la serie o del curso completo consiste en lo siguiente:

Al finalizar el proceso instructivo, el estudiante deberá estar en condición de diseñar y emprender un proyecto de investigación dentro de su disciplina académica, aplicando tanto los contenidos adquiridos con las asignaturas propias de su carrera, como los elementos conceptuales y técnicos adquiridos con el estudio de esta serie. Esto lo

capacitará para enfrentar y tratar de resolver problemas de su área de estudio siguiendo la metodología de la investigación científica.

Para cumplir estos propósitos y estos objetivos, se supone que los usuarios de este curso (estudiantes que están en la mitad de una carrera de educación superior), han desarrollado los siguientes aprendizajes:

– Comprensión clara de textos escritos.
– Deducción lógica, abstracción y aplicación de principios.
– Conocimientos básicos de historia.
– Manejo general de los temas y métodos básicos de su disciplina de estudio.
– Manejo de las operaciones matemáticas.
– Solución de ecuaciones de primer grado.
– Definición de funciones matemáticas.
– Entendimiento de los conceptos lógicos de probabilidad.

Hacemos explícitas estas *conductas mínimas de entrada,* con la finalidad de garantizar, por una parte, la adecuada ubicación del curso dentro de los programas académicos, o en el caso eventual de que éste se siga por fuera del ámbito de un programa académico formal, con la finalidad de garantizar la necesaria nivelación previa de los conocimientos básicos.

Estructura de aprendizaje de la serie

La serie APRENDER A INVESTIGAR consta de los siguientes elementos:

* Cinco módulos escritos y guías de utilización de videocasetes.
* Cinco videocasetes que contienen trece programas de video para BETA o VHS.
* Guía de utilización de videocasetes.

Los *módulos* son el material fundamental de trabajo. Sin embargo, en aquellos temas en los cuales el medio audiovisual permite una mayor riqueza y facilidad de expresión, se prefirió su uso al del material escrito. En otros aspectos que presentan alguna dificultad de comprensión, el material audiovisual cumple la función de *complemento o refuerzo* del material escrito. En ningún caso el material audiovisual es repetitivo dcl material escrito.

Toda la serie ha sido diseñada como material autoinstructivo. Por tal razón, sin sacrificar la necesaria precisión de los conceptos, se ha utilizado el lenguaje coloquial y sencillo. Según el propósito y el objeto antes expresados, se ha buscado hacer un primer acercamiento del estudiante a los conceptos, métodos y técnicas básicas de investigación, buscando ante todo *despertar su interés por ellas*. En los casos en los cuales el estudiante desee profundizar, deberá recurrir a la *bibliografía básica* que se le indica al final de cada unidad, así como una consulta con tutores, profesores o con expertos investigadores en la materia. El conocimiento adquirido a través del curso debe servirle de guía para continuar profundizando en la materia.

Los módulos de que consta la serie son:

Serie Aprender a Investigar
Organización de los módulos

	Material escrito	Videocasetes
Módulo 1	**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y DESARROLLO** *Naturaleza de la actividad científica *Naturaleza de la tecnología *Investigación y desarrollo experimental *El impacto socio-económico de la ciencia y la tecnología *La ciencia y la tecnología en la nueva revolución industrial	*Ciencia y tecnología: desarrollo del hombre 15
Módulo 2	**LA INVESTIGACIÓN** *El conocimiento científico *Tipos de investigación *Modelos y diseños de investigación *La interdisciplinariedad	*Tipos de investigación científica 15’ *El experimento 15’
Módulo 3	**RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN** *Conceptos básicos de medición *Información primaria y secundaria *Unidades variables y valores *Técnicas para el registro de información secundaria *Técnicas para la recolección de información primaria *La encuesta	*Información primaria y secundaria 15’ *La observación 15’ *La encuesta 15’ *La entrevista 15’
Módulo 4	**ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN** *Descripción de datos - Técnicas de representación gráfica *Distribución de datos - Técnicas numéricas *Introducción a las probabilidades *La prueba de hipótesis *Regresión y varianza *Análisis y muestra *Universo y muestra *Estudio de factibilidad de software estadístico	*La medición y las ciencias 15’ *La curva normal 15’ *La muestra 15’
Módulo 5	**EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** *Elementos del proceso investigativo *Administración del proyecto *Evaluación del proyecto *El informe investigativo	*Cómo utilizar las fuentes de información 15’ *De dónde surgen los problemas de investigación 15’ *Vamos a elaborar un proyecto

Nota: En los módulos escritos se incluye una guía didáctica para utilización de los videocasetes.

Se trata de que cada módulo (tanto en el material escrito como en el material audiovisual) sea *autosuficiente,* es decir, que en forma independiente comunique una información *completa* sobre un determinado tema. Sin embargo, no debe perderse de vista que cada uno de ellos es parte *integrante* del programa total. Entre uno y otro módulo existen relaciones determinadas de orden y niveles, que conforman la ESTRUCTURA DE APRENDIZAJE con la cual se diseñó la serie.

Es importante conocer esta *estructura de aprendizaje*, pues ella es una gran ayuda, tanto para el estudio como para la evaluación de los objetivos de aprendizaje propuestos.

La organización de la serie: los módulos y material audiovisual

Un módulo consta de *unidades de aprendizaje*, que son consideradas como etapas que hay que recorrer, siguiendo una ruta estratégicamente diseñada, para lograr un objetivo propuesto.

Dentro de cada módulo y antes de empezar cada *Unidad* se explicitan cuáles son los objetivos específicos de aprendizaje que se persiguen.

En la técnica de estudio independiente o de *autoinstrucción,* usted debe ser muy consciente, antes de entrar a trabajar, de qué es lo que va a hacer. Esto le ayudará en el aprendizaje. Una vez usted haya estudiado un contenido de acuerdo con su ritmo propio de trabajo, al final de cada unidad encontrará unas preguntas sobre los contenidos que trata el módulo que le permitirán autoevaluarse, conocer si usted domina esos contenidos y, por tanto, decidir en forma personal y responsable si puede continuar avanzando.

Recuerde y tenga siempre en cuenta que no todas las partes del proceso investigativo presentadas en el modelo aparecen desarrolladas en el texto escrito, algunas han sido desarrolladas en los videocasetes, por lo cual, cuando así se le indique, usted deberá recurrir al beta o VHS y seguir la guía de utilización de videos.

La serie está diseñada de tal forma que es básicamente usted quien juega el rol principal, quien estudia y quien debe decidir si ha alcanzado los objetivos previstos. Se han hecho grandes esfuerzos para organizar los diferentes materiales en función de un aprendizaje a partir de un estudio independiente.

Descripción sintética de los módulos

El módulo 1

Hemos denominado al módulo 1: *Ciencia, tecnología, sociedad y desarrollo*

– El propósito de este módulo es proporcionar al estudiante que se inicia en el estudio de la metodología general de investigación, una rápida visión de cómo la *ciencia, la tecnología y la investigación* son actividades de carácter histórico, es decir, que han evolucionado con el desarrollo del hombre y de la sociedad.

– Mostrar cómo han adquirido en la actualidad una importancia estratégica.

– Introducir en los conceptos de *ciencia, tecnología e investigación.*

Este módulo se complementa con el videocasete: “Ciencia y tecnología: desarrollo del hombre”, 15’.

El módulo 2

Hemos denominado el módulo 2: *La investigación*

– El propósito de este módulo es presentar el conocimiento y el método científico como punto de partida para enfrentar la realidad y plantear procesos investigativos.

– Mostrar los diferentes tipos de investigación y dar elementos de juicio para la utilización de medios y determinación del tipo de diseño a seguir.

– Presentar la interdisciplinariedad como una metodología de investigación científica.

Este módulo se complementa con dos videocasettes: 1. Tipos de investigación científica, 15’ y 2. El experimento, 15’.

El módulo 3

Hemos denominado al módulo 3: *Recolección de la información*

– El propósito de este módulo es identificar las técnicas básicas para recolectar la información que se requiere para el trabajo de investigación.

– Distinguir las reglas de diseño a que están sometidas.

– Plantear elementos básicos para que, en dependencia con el tipo de investigación, el programa que se enfrenta y la estrategia concebida para resolverla, es decir, con la hipótesis conductora del trabajo, se pueda emplear las técnicas que más se ajusten a esos requerimientos.

Este módulo se complementa con cuatro videocasettes: 1-. Información primaria y secundaria, 15’. 2-. La observación, 15’. 3-. La encuesta, 15’. 4- La entrevista, 15’.

El módulo 4

Hemos denominado al módulo 4: *Análisis de la información*

– El propósito de este módulo es plantear las técnicas más comunes para el análisis de datos, y el saber cuándo, cómo y por qué utilizarlas. Se plantea además el análisis conceptual y la descripción de paquetes estadísticos para uso del computador.

Este módulo se complementa con tres videocasettes: 1-. La medición y las ciencias, l 5’. 2-. La curva normal, I 5’. 3-. La muestra, 15’.

El módulo *5*

Hemos denominado el módulo 5: *El proyecto de investigación*

– El propósito de este módulo es lograr que el estudiante retome e integre los conceptos y los procesos de la metodología de investigación científica y pueda formular un proyecto de investigación en su respectiva área de estudio.

– Presentar elementos básicos para el desarrollo del proyecto de investigación relacionados con el proceso de investigación: la administración del proyecto; la evaluación del proyecto y el informe investigativo.

Este módulo se complementa con tres videocasettes. 1-. Cómo utilizar las fuentes de información, 15’. 2-. De dónde surgen los problemas de investigación, 15’. 3-. Vamos a elaborar un proyecto, 15’.

Consideramos que este **módulo** es de vital importancia y tanto los videos como los otros módulos convergen a éste. Es decir que el módulo *5* es el centro de la serie **APRENDER A INVESTIGAR.**

Como objetivos específicos del módulo, tenemos:

– Indicar al estudiante los factores a tener en cuenta en la elección de un tema para investigar.

– Proporcionar al estudiante las herramientas básicas que le permitan identificar, analizar y formular problemas de investigación dentro de su área de estudio.

– Capacitar al estudiante para que pueda formular hipótesis para la solución de los problemas y señalarle algunos de los pasos que generalmente se siguen para poner a prueba las hipótesis de investigación.

– Señalar las diferencias que existen entre las actividades cientifico-técnicas, con la finalidad de que pueda comprender la peculiaridad de una de ellas: la investigación.

– Hacer conocer que la forma moderna de investigar es a través de la planeación, ejecución y determinación de aspectos administrativos del proyecto.

– Proporcionar al estudiante y a los profesores parámetros de evaluación para proyectos de investigación.

– Lograr que el estudiante entienda la necesidad e importancia de elaborar informes parciales y finales, que estén en capacidad de elaborarlos aplicando las técnicas básicas correspondientes.

La asesoría de tutores

Aunque los módulos han sido diseñados para que puedan utilizarse en estudio independiente o en forma auto-instructiva, es conveniente valerse de la *asesoría de tutores, profesores o expertos investigadores.*

El trabajo tutorial es conveniente para:

- Aclarar, ampliar y profundizar conceptos.
- Orientar los ejemplos, ejercicios y prácticas hacia los temas y problemas propios de la disciplina que estudie cada participante.
- Resolver inquietudes y dudas.
- Coordinar el contacto y trabajo con otros estudiantes.
- Estimulación del debate en grupos.
- Estimular el aprendizaje en la práctica.
- Auto-regular el proceso de aprendizaje.

Según lo previsto en el diseño y organización de la serie, la asesoría de tutores, profesores o expertos investigadores no solo es conveniente sino necesaria en las siguientes actividades:

- La realización de experimentos y trabajo en laboratorios.
- El diseño y la ejecución del proyecto de investigación.

Sin embargo, es importante enfatizar que el participante es el directo responsable de su aprendizaje. Tanto los materiales escritos y los audiovisuales que conforman los diferentes módulos del programa, así como los tutores, profesores o investigadores-asesores son solamente medios que le apoyen en su decisión de aprender.

Módulo 1
Ciencia, tecnología, sociedad y desarrollo

Introducción

La ciencia y la tecnología pueden palparse en lo cotidiano. Basta echar una ojeada a los objetos que nos rodean en nuestro diario vivir y preguntarnos por el contenido de conocimiento que ha hecho posible su producción. Subyacen a este conjunto innumerable de productos, procesos y equipos infinidad de tecnologías «que no existían y no hubieran existido jamás si no hubiera sido por el talento y la creatividad del hombre», como lo vio Jorge Sábato.

Siendo el conocimiento la «materia prima» de la sociedad a fines del siglo XX, el presente material se presenta como una invitación a comprender la naturaleza de la actividad científica y tecnológica generadoras de conocimiento y a forjarse una visión general de su impacto en la sociedad. Somos testigos de excepción de una revolución productiva nueva, basada en el conocimiento.

Es en este escenario donde, a manera de inducción y telón de fondo, cobra sentido «aprender a investigar» en los múltiples campos del saber. Este es uno de los lenguajes de la sociedad y de las organizaciones de nuestros días.

1. NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA

1.1 Elementos comunes al pensamiento científico

Si encontramos al azar un grupo de científicos, aun dentro de un mismo campo o disciplina, hallaríamos que sus ideas sobre un problema determinado difieren, a veces de modo radical; esto, además de ser una de las características inherentes al ser humano, refleja en parte la diversidad del pensamiento científico. Sin embargo –y afortunadamente–, existe una base de actitudes y creencias que todos ellos comparten, acerca de la naturaleza del universo y del modo de aproximarse y aprender de él.

1.1.1 *Estudio de patrones*

Uno de los elementos de esta base común es la suposición de que todo lo que existe y ocurre en el universo sigue ciertos modelos o patrones consistentes que pueden ser descubiertos y estudiados a través del intelecto y del uso de métodos e instrumentos que refinan y extienden nuestra capacidad sensorial.

Estos patrones o reglas básicas, además, son, o deben ser, iguales en cualquier parte del universo, de modo que, por ejemplo, los principios que regulan el movimiento de los cuerpos son los mismos aquí en nuestro planeta y en la más distante de las galaxias.

1.1.2 *Observación y explicación de los fenómenos*

Otro elemento común que comparten los científicos se refiere al proceso para producir conocimiento: depende tanto de la observación cuidadosa de los fenómenos como de la invención de teorías para explicar lo observado. En este proceso los cambios, la renovación o las modificaciones son inevitables ya que las nuevas observaciones pueden poner en tela de juicio las teorías predominantes; éstas, entonces, están siendo sometidas continuamente al examen y la comprobación para ser mejoradas y, ocasionalmente, descartadas y reemplazadas por otras que pueden explicar los hechos con mayores coberturas y profundidad. El científico cree, así, que si bien la verdad absoluta y completa es inalcanzable, sí es posible, por aproximaciones sucesivas, adquirir conocimientos cada vez más exactos de todo lo que nos rodea y de su funcionamiento. Con ello está asociado el método científico.

1.2 El método científico y sus alcances

El método científico es un descendiente de una rama de la filosofía llamada epistemología (del griego *episteme*, *“conocimiento”,* y *logos*, *“teoría”).* Desde Platón los hombres han venido meditando sobre lo que es el conocimiento, de dónde procede y cómo adquirirlo. En el siglo XVII el epistemólogo Francis

Bacon, concentrándose sobre el conocimiento científico en particular, intentó proporcionar una guía ordenada para su adquisición. Ofreció al científico una regla de trabajo cuádruple: observa, mide, explica y luego verifica. Hacia el siglo XIX se proponía una versión del método algo más complicada: plantea una cuestión sobre la naturaleza; recoge evidencia pertinente; forma una hipótesis explicativa; deduce sus consecuencias; compruébalas experimentalmente; y, entonces, acepta, rehusa o modifica la hipótesis, según corresponda.

En la ciencia, todo programa de investigación creadora adelanta por los pasos tentativos, fortuitos e inspirados, de muchos hombres a través de muchos años. Puede suceder que una teoría apenas vislumbrada en el siglo XIX no surja plenamente a la vista hasta haber sido enmarcada en esquemas matemáticos de lógica elaborados en el siglo XX. Es posible que un experimento que se considera vital tenga que esperar largo tiempo mientras se idea el aparato necesario para llevarlo a cabo. El fisiólogo Wilton Earle, que iba a la cabeza del cultivo de tejidos humanos vivientes en botellas, fuera del cuerpo, una vez tuvo que esperar todo un año por falta de un tapón de matraz que no envenenase sus delicados cultivos esterilizados. Tardó meses en averiguar que los tapones que necesitaba tenían que estar hechos de silicio, y en persuadir a un fabricante para que los produjese.

Estos obstáculos a la investigación, así como la suerte y la intuición que la favorecen, son fundamentales en toda empresa humana. *Lo que es único en el esfuerzo científico es la conexión que forja entre ideas y hechos, hechos e ideas.*

No hay nada más asombroso acerca de la ciencia que su facultad para hacer conjeturas imaginativas y convertirlas luego en realidades tangibles que nadie había previamente sospechado. De las ecuaciones de Maxwell sobre electromagnetismo salieron la radio y la televisión. De las fórmulas de Einstein sobre materia y energía salió la bomba atómica. Cuando la imaginación científica opera en dirección contraria, cristalizando teorías a partir de hechos, la transformación es igualmente deslumbradora. En el transcurso de unos diez años se pasa de un mohoso montón de huesos y de extraños pájaros, a la teoría de la evolución. En un momento dado tenemos un montón de sucia pebblenda y un trabajo de refinación inacabable por delante; poco después tenemos el radio y la idea del núcleo atómico.

Aunque la expresión «método científico» es ya bien conocida, la verdad es que no existen reglas fijas ni pasos que, al seguirlos, conduzcan directamente al conocimiento científico. Tampoco proporciona un plan detallado para explorar lo desconocido, no es una receta infalible para los descubrimientos. Es más bien una actitud y una filosofía, que proporcionan una orientación según la cual se pueden deducir con confianza conceptos generales de las impresiones que desde el mundo exterior entran a raudales en los sentidos del hombre.

Tan general es el método que puede ser utilizado fructíferamente por científicos de todas las especialidades y de talentos de todas clases. El que lo practica puede ser de los que parece que siempre están levantando piedras para ver lo que hay debajo, y rompiendo cosas para contar y catalogar lo que hay en su interior –siempre obsesionados por los hechos–. O bien puede ser, como un Newton o un Einstein, alguien que nos parece un soñador, que persigue visiones y teje telarañas de ecuaciones en lo alto de un cielo abstracto, que no trabaja con hechos, sino con ideas nacidas al parecer de la pura fantasía creadora. El gran triunfo del método científico es el de permitir que estos dos extremos del talento, los que recogen datos y los que construyen teorías, se complementen el uno al otro.

Con todas sus virtudes, ese método tiene ciertas limitaciones naturales. No puede reemplazar la inspiración de un Arquímedes que le hace descubrir una ley fundamental de hidrostática sentado en una bañera. No puede atraer la buena suerte de un Alexander Fleming al encontrarse con la penicilina. No puede acelerar el lento proceso de crecimiento y maduración intelectual. En resumen, no puede crear ciencia automáticamente, de la misma manera que la teoría de la armonía no puede escribir una sinfonía y un manual de la armada nacional no puede ganar una batalla naval.

1.3 Características del método científico

La investigación científica no puede describirse fácilmente fuera del contexto de una disciplina o campo específicos. Existen, sin embargo, una serie de características que le confieren una «personalidad» propia y única frente a las otras maneras de ver el mundo, características que, por otro lado, pueden ser aplicadas por cualquier persona en asuntos importantes de su diario vivir. Veamos algunas de ellas.

1.3.1 *Observación y recolección de datos*

Los hechos con los que trabaja la ciencia se llaman datos, del latín *data*, que significa aquellas cosas que se nos dan o se nos conceden por nuestra observación del mundo a nuestro alrededor y nuestra absorción de su incesante flujo de visiones, sonidos, olores, gustos y sensaciones táctiles. Como puntos de partida para su investigación el científico acepta aquellos ingredientes de la experiencia que se refieren palpablemente al conocimiento objetivo, conocimiento diferente del deseo.

Tarde o temprano la validez de cualquier afirmación científica debe confrontarse con la observación de ciertos fenómenos y por ello los científicos invierten gran parte de su tiempo en la recolección de datos exactos, tomados tanto en condiciones **pasivas** (un terremoto, un comportamiento animal en condiciones naturales) como **activas** (un experimento en el laboratorio, el ensayo de una droga en un ser vivo). A menudo es posible controlar en forma precisa y deliberada las condiciones en las cuales se obtiene la evidencia a fin

de conocer la manera en que cada una de las variables o condiciones afectan el sistema en examen. Frecuentemente esto no es posible (si el objeto del estudio es una estrella por ejemplo) o no se conforma a la ética (si el sujeto es un ser humano); otras veces dicho control puede distorsionar el fenómeno correspondiente (comportamiento de animales en cautiverio). En estos casos las observaciones se realizan en un rango suficientemente amplio de condiciones naturales de modo que se pueda inferir el efecto de los diversos factores. Dada la importancia crucial de la evidencia, el desarrollo de instrumentos y técnicas de observación cada vez mejores ocupa un lugar prioritario en el esquema general de la investigación científica. Por la misma razón los investigadores tienden a verificar los hallazgos de otros, replicando las condiciones respectivas y buscando la reproducibilidad que debe caracterizar una observación científica hecha.

1.3.2 *Formulación y comprobación de hipótesis*

A menudo los científicos entran en desacuerdo respecto al valor de cierta evidencia o acerca de la validez de una suposición dada y, por tanto, en conflicto frente a las conclusiones respectivas.

Sin embargo, tienden a compartir los principios del razonamiento lógico que conecta la evidencia y las hipótesis con las conclusiones (criterios de inferencia, demostración y sentido común). En ciencia no se trabaja solamente con datos y teorías bien desarrollados. A menudo, lo único que se tiene son hipótesis, las cuales se usan ampliamente para escoger datos interesantes y buscar los que hagan falta y para seguir la interpretación de éstos. De hecho, el proceso de la formulación y comprobación de hipótesis es una de las actividades centrales del científico. Por otro lado, para que sea útil, una hipótesis debe sugerir la evidencia a favor y la evidencia en contra.

La lógica y la evidencia son necesarias pero, a menudo, no suficientes para hacer avanzar la ciencia. Los conceptos científicos no surgen automáticamente de los datos ni de su mero análisis: la investigación de la hipótesis o de las teorías y de la manera como éstas pueden ser sometidas a las pruebas de evidencia, son ejercicios tan creativos como la poesía, la música y el diseño. Algunas veces los descubrimientos científicos se hacen por accidente, pero el conocimiento y la percepción creativa son necesarios para conocer el significado de lo inesperado; no pocas veces los datos que un científico ignora pueden servir a otro para realizar un descubrimiento.

1.3.3 *Demostración de relaciones entre fenómenos*

La credibilidad de una teoría científica a menudo se deriva de su capacidad para mostrar relaciones entre fenómenos aparentemente desconectados; de este modo, las explicaciones inventadas para un fenómeno dado son consistentes en principios o hechos ampliamente aceptados. Así, por ejemplo, la teoría del movimiento de las placas tectónicas ha ganado credibilidad a

medida que se han establecido relaciones entre fenómenos tan diversos como los terremotos, los volcanes, la forma de los continentes y los tipos de sus fósiles, y los contornos de los fondos oceánicos.

La esencia de la ciencia es la validación mediante la observación, pero no es suficiente que una teoría explique sólo los datos conocidos, sino que debe encuadrar las observaciones adicionales pasadas o futuras; en una palabra, una teoría debe tener poder predictivo. Una teoría, por ejemplo, sobre los orígenes del hombre puede ser puesta a prueba a medida que aparecen nuevos descubrimientos sobre fósiles de homínidos; una sobre evolución de estrellas puede predecir relaciones insospechadas entre las variables que determinan su luminosidad, las cuales pueden ser verificadas al escudriñar series de datos antiguos sobre el problema.

1.4 Perfil del científico

Es pertinente referirnos en estas notas al protagonista de la ciencia, al artífice de la creación científica en los términos más amplios posibles.

El científico es un enigma para el profano, en parte, porque es relativamente un recién llegado a su mundo. Hasta la segunda Guerra Mundial, se movía principalmente en círculos académicos, pero incluso allí su identidad como clase diferente había sido establecida hacía apenas un siglo. Por extraño que parezca, incluso la palabra inglesa no fue acuñada sino en 1840. Su inventor, un historiador y filósofo de Cambridge, William Whewell, la introdujo como sigue: “Nos es muy necesaria una palabra para describir al que cultiva la ciencia en general. Me inclino a llamarlo scientist.

La palabra latina *sciens* quiere decir, efectivamente, “saber”. En francés *la science* es aún un término para toda clase de saber, y en alemán *die Wissenschaft*, “conocimiento” o el “arte de saber”, es con frecuencia usado en lugar de “ciencia”. Pero los que practican la ciencia hace tiempo que creen que su objetivo es una clase de conocimiento que se diferencia de todos los demás: algo que se basa enteramente en hechos y lógica; que no depende de referencias históricas, opinión de la mayoría, moda o gusto; y que puede ser demostrado en cualquier momento y lugar a cualquier ser humano atento al asunto.

Lo que principalmente distingue el conocimiento científico de los demás es el método, llamado científico, gracias al cual se crea, y que es extensión sistemática del buen sentido y del sano escepticismo. La práctica de este método requiere diversos tipos de mentalidad. Para recoger evidencia y comprobar conclusiones, son necesarios agudos observadores, ingeniosos experimentadores y clasificadores concienzudos. Para enmarcar conceptos y explicaciones debe haber teóricos con imaginación y lógicos implacables. Para hallar empleo práctico a los hallazgos de los demás, son necesarios pragmá-

ticos que no pierdan el suelo de vista. Todo aquel que utiliza el método científico, ya sea por razones prácticas, o para la investigación pura, se encuentra bajo la categoría de científico: el técnico de laboratorio y el que recoge animales para el zoológico, tanto como un Einstein o un Darwin; el científico social, lo mismo que el físico, el químico y el astrónomo.

Fueron famosos los estudios de la Dra. Roe, psicóloga clínica, a comienzos de los años 60 en los Estados Unidos. Sus sujetos de observación fueron escogidos por comités universitarios, que postulaban a los más brillantes investigadores y representaban disciplinas diferentes: antropólogos, botánicos, genetistas, astrónomos, psicólogos, químicos, bioquímicos, para un total de 64, que luego amplió con pruebas menos detalladas a un grupo de 382 científicos. Aplicó baterías de tests de inteligencia y de personalidad como el Rorschach y el T.A.T. Para buscar candidatos a becas la National Science Foundation patrocinó dichos estudios y por lo menos otros cincuenta informes fueron presentados en un Congreso sobre el tema. En el recuadro 1.1 se presentan las principales conclusiones sobre este perfil:

Recuadro 1.1: Rasgos del científico

Entre las principales conclusiones sobre la "personalidad científica" de los científicos podemos resumir:

- Nivel de inteligencia notablemente elevado, con un coeficiente intelectual promedio de 150
- Necesidad general de independencia, autonomía, de dominio personal sobre su medio.
- En su trabajo disfrutan a fondo, son decididos y altamente concentrados en el mismo, al punto que las vacaciones le parecen con frecuencia interrupciones a su tarea.
- Poseen un yo muy pronunciado, eso hace que sean excesivamente auto - controlados.
- En su juventud adquieren confianza precoz en sí mismos en la solución de problemas intelectuales. Su familia da importancia en su educación a los libros.
- Poseen una mente abierta y flexible en términos ideológicos y religiosos.
- Cumplen sus deberes cívicos y de comunidad, no viven "al margen" como algunos creen.
- Comparten con otros grupos de creadores –artistas y escritores– una fuerte tendencia a la introversión y a bastarse a sí mismos.

(Continúa...)

(Continuación)

En Colombia, desde luego que en la escala de las posibilidades del medio, se vienen utilizando en la actualidad métodos que consideran el perfil de rasgos deseables de un investigador, mediante la aplicación de una batería de pruebas de personalidad, con el fin de llevar a cabo la selección y orientación de jóvenes científicos investigadores con estudios de pregrado o especialización, para que continúen su proceso de formación en estudios de maestría y doctorado, en áreas y disciplinas críticas para el desarrollo del país, y donde se presentan déficits de candidatos a las convocatorias de maestrías y doctorados. El programa, administrado por Colciencias, ha propiciado la vinculación de jóvenes promisorios a ambientes favorables para su futuro quehacer científico y tecnológico en centros y universidades.

NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 1

1. Los científicos comparten una base común de pensamiento al desarrollar su actividad. Indique los elementos principales de dicha base común y descríbalos brevemente.

2. La observación que practican los científicos alrededor de las cosas y los fenómenos se da bajo diversas condiciones. ¿Podría usted citar ejemplos de esas condiciones?

3. Lo clave de una hipótesis es que sea útil. Al formularla, ¿qué es preciso tener en cuenta para cumplir este requisito?

4. Para poder hablar de teoría científica, se requiere un requisito fundamental que es validar el conocimiento en la realidad mediante rigurosas observaciones y datos. Pero esto no es suficiente, pues la ciencia exige otra característica central. ¿Puede usted referirse brevemente a ella?

CLAVE DE RESPUESTAS
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 1

Las respuestas correctas son:

1. Modelos o patrones, la observación, el método científico, recolección de datos, formulación y comprobación de hipótesis.

2. Condiciones pasivas: (terremotos, comportamiento animal), condiciones activas (un experimento de laboratorio).

3. La hipótesis debe sugerir la evidencia a favor, la evidencia en contra.

4. No es suficiente que una teoría explique, debe tener poder predictivo.

2. NATURALEZA DE LA TECNOLOGÍA

2.1 La naturaleza de la tecnología

La tecnología es tan antigua como el hombre. De hecho, la aparición de las primeras herramientas se ha relacionado con los principios de la cultura humana. La tecnología como el lenguaje, los ritos, los valores, el comercio y las artes, es un elemento intrínseco al sistema cultural, del cual es un reflejo y sobre el cual actúa dinámicamente. En el mundo de hoy la tecnología ha asumido las características de una compleja empresa social que incluye no solamente la investigación, el diseño y la fabricación, sino también las finanzas, la manufactura, la administración, la fuerza laboral y el mercadeo.

En sentido más amplio, la tecnología es la manera más efectiva de amplificar y extender nuestra capacidad para cambiar el mundo, ya sea para cortar, dar forma o unir materiales, para aumentar el alcance de nuestras manos, voces, y sentidos; o para movernos o transportar cosas de un lugar a otro.

Nos servimos de la tecnología para transformar lo que nos rodea, de acuerdo con nuestra conveniencia y nuestras necesidades básicas como el alimento, la vivienda o la defensa; la tecnología puede hacer parte también de aspiraciones humanas como el conocimiento, el arte y el control sobre las cosas. A menudo, sin embargo, los resultados de esas modificaciones son impredecibles y complejos, pueden traer beneficios inesperados pero también sorpresas negativas en sus costos y riesgos, con incidencias imprevistas sobre ciertos grupos sociales. Por ello, es tan importante anticipar los efectos de una tecnología como avanzar en su desarrollo.

2.2 La tecnología como extensión del hombre

Se refiere a la interpretación que Mac Luhan hace del impacto de los medios en el desarrollo de la sociedad y del individuo, a partir de la interpretación de los mismos como extensiones de los sentidos y la capacidad física del hombre. A través de los siglos y las épocas los medios mediante los cuales el hombre se comunica han determinado sus pensamientos, sus acciones y sus estilos de vida. Baste repasar sus brillantes aportes sobre el análisis del impacto de los medios masivos de comunicación en varios de sus libros. Este autor ha sido considerado como el vocero de la llamada era electrónica cuyas ideas han generado un debate muy significativo.

Mac Luhan sostiene que los medios de comunicación masivos están descentralizando la existencia, convirtiendo el globo en una aldea y creando condiciones similares a la vida tribal. La expresión acuñada por Mac Luhan, la “Aldea Global”, se usa cada vez más a propósito del Internet, las transacciones financieras 24 horas, los noticieros del tipo CNN que transmiten la guerra de Irak y la noción de “comunicación al instante”, que a su vez están introduciendo nuevos elementos económicos, culturales y políticos a los procesos de globalización.

“El uso de toda clase de medio o extensión del hombre altera los patrones de interdependencia entre la gente, así como altera las proporciones en que se utilizan nuestros sentidos”.

“Todas las tecnologías son extensiones de nuestros sistemas nervioso y físico para incrementar poder y velocidad. A menos que tales incrementos se den, las nuevas extensiones del hombre no tendrían lugar o serían descartadas”. Todo incremento en poder o en velocidad en un medio causa una alteración y un cambio en la organización social. Desde esta óptica analiza las vías y los mapas, el vestido, el dinero, la vivienda, la palabra escrita, el reloj, la imprenta, el fonógrafo, la prensa, el telégrafo, la máquina de escribir, la televisión, la radio, las armas, la automatización

Un ejemplo de lo anterior es la forma en que Mac Luhan interpreta la formación del Imperio Romano, a partir del significado de la evolución de las vías. La alteración de las agrupaciones sociales y la formación de nuevas comunidades ocurren al incrementarse la velocidad de la información, por medio de mensajes escritos o de vías. Tal aceleración significa mucho más control a mayores distancias. Históricamente significó la formación del Imperio Romano y la alteración de las ciudades-estado del mundo griego. Las aldeas y las ciudades-estado son en esencia formas que incluyen todas las funciones y necesidades humanas. Con mayor velocidad y, por ende, con mayor control militar a distancia, la ciudad-estado colapsó. Una vez inclusivas y autosuficientes, sus necesidades y funciones fueron extendidas a las actividades especializadas de un imperio.

2.3 La tecnología: un conjunto de operaciones

Es promisorio para los procesos de capacitación técnica de un país examinar las implicaciones de la definición de tecnología como un conjunto de operaciones ligadas a todo proceso productivo. En el Centro de Transferencia de Tecnología del Pacífico, a cargo del Profesor Sharif, desarrollaron mapas sobre las actividades tecnológicas necesarias en cada etapa de la transformación productiva, incluso identificando los valores agregados en materia de contenido tecnológico. Por ejemplo, la manufactura implica procesos elevados de contenido tecnológico tales como forjado, moldeo, unión de partes, y estampado. La industria de procesos implica de manera similar contenidos tecnológicos altos al ocuparse de separación, transferencia, exposición a reactores, conversión y síntesis. Por contraste, el manipuleo de elementos conlleva bajos contenidos tecnológicos agregados, pues tan sólo se trata de arrastrar, mover y almacenar. A partir de estas orientaciones elaboraron métodos de diagnóstico tecnológico en un país y los llamaron “Atlas Tecnológicos”.

2.4 La tecnología: un insumo de la producción

Resulta, sin embargo, que existen otras dimensiones del concepto de tecnología relacionadas con el desarrollo económico e industrial de los países en

desarrollo, pues comprende otras dimensiones relacionadas también íntimamente con el comercio internacional de bienes y servicios. Para ello nos basaremos en algunas ideas de Jorge Sábato, maestro y pionero de este tema en Latinoamérica.

No toda tecnología es resultado de la investigación científica-técnica. Efectivamente: tecnología es el conjunto ordenado de conocimientos utilizados en la producción y comercialización de bienes y servicios. Este conjunto está integrado no sólo por conocimientos científicos provenientes de las ciencias exactas, naturales, sociales, humanas, etc., sino también por conocimientos empíricos como los que resultan de observaciones o ensayos o se reciben por tradición oral o escrita o se desarrollan gracias a alguna determinada aptitud específica (intuición, destreza manual, sentido común, etc.).

Hay tecnologías en las que predomina el conocimiento de origen científico, como ocurre con la mayoría de las modernas tecnologías de proceso; otras, en cambio, en las que prima aún el conocimiento empírico. En muchas tecnologías de gran importancia, como ocurre con el forjado de metales, la construcción de edificios, la fabricación de muebles y artefactos de madera, la cría de ganado, etc., se emplean combinadamente conocimiento científico y conocimiento empírico.

Sea "artesanal", "basada en ciencia" o "manufacturada", o una mezcla de ambos tipos, la tecnología es un elemento imprescindible para la comercialización de bienes y servicios y por lo tanto se ha constituido en un objeto de comercio entre los que poseen y están dispuestos a cederla, canjearla o venderla, y los que no la poseen y la necesitan. La tecnología adquiere así un precio y se convierte en mercancía según la definición de K. Boulding: "Una mercancía es algo que es intercambiado y por consiguiente tiene un precio". Es evidente la concentración de este bien en los países centrales y en las corporaciones transnacionales. A esta asimetría se la llamó dependencia tecnológica.

Constantino Vaitsos, quien hizo aportes pioneros en este tema, consideró a la tecnología como una mercancía, por una razón fundamental: "El entendimiento de la tecnología como mercancía y el análisis de su mercado respectivo resulta de suma importancia para los países en desarrollo, dada su presente situación como importadores de tecnología. Tal importación constituye, generalmente, la mayor parte de los conocimientos que se utilizan en el proceso de sus avances económicos". En tal sentido llevó a cabo múltiples estudios en Colombia y en el Pacto Andino, sobre la comercialización de tecnología, concepto acuñado por él. Hizo aportes pioneros sobre las características del mercado de tecnología, tales como su estructura monopolística en la compraventa de conocimientos y la fuerte concentración en las empresas transnacionales. Por ello influyó mucho en una posición defensiva en el manejo de la tecnología, reflejada en las políticas de inversión extranjera y transferencia de tecnología del Pacto Andino, como la decisión 24.

Es preciso comprender la naturaleza altamente dinámica de la tecnología, en virtud de su permanente cambio, reforzado justamente por el moderno método de producción de conocimiento, la I&D, en las “fábricas de tecnología” o mal llamados, según Sábato, “laboratorios de investigación y desarrollo”. Dos consecuencias se derivan de ello:

- Una creciente velocidad de obsolescencia de las tecnologías en uso.
- Un aumento espectacular en la introducción de nuevas tecnologías expresadas en equipos, procesos y productos que eran totalmente desconocidos hace unas pocas décadas.

2.5 Formas de transferencia de tecnología

Alguna vez dijo muy gráficamente Surrendra Patel, estudioso del comercio internacional de tecnología, que “Si la tecnología siguiera las leyes de los fluidos, fluiría simplemente de un punto alto a otro más bajo. Las brechas tecnológicas y de ingresos serían fenómenos transitorios. Todos los países se volverían eventualmente iguales en lo económico. Y, los que están un poco atrás no tendrían que pasar muchas noches en vela pensando en ello, ya que la fuerza de gravitación impulsaría la tecnología hacia los puntos más bajos. Pero la tecnología no parece fluir en esa forma. Su transferencia enfrenta muchos obstáculos. Particularmente serias son las limitaciones de su mercado y la débil posición negociadora de los países en desarrollo”. Colombia generó ideas novedosas de política pública para manejar los flujos de tecnología por medio del examen de los contratos de tecnología, evitando en ellos cláusulas restrictivas y sobrecostos.

Debemos tener claro que la tecnología no se logra siempre y necesariamente por medio de la investigación, cosa más cierta en países como Colombia, en donde los costos que ello supone están por fuera de las posibilidades en muchos casos. De allí que la transferencia de tecnología adquiera especial relevancia para los procesos de industrialización. Se evitan riesgos muy grandes al hacerlo por esta vía. La industrialización asiática reciente enseña interesantes experiencias de transferencia mediante contratos de licencia y adquisición de maquinaria y una intensa difusión apoyada en procesos de intensa capacitación de los trabajadores y de formas acordes de gestión. Los años del llamado milagro español (19760-75) se dieron por esta vía.

Lo anterior no es un llamado a prescindir de la investigación. En algunos estudios de caso de la misma experiencia colombiana se ha podido confirmar que la I&D acompañan con más éxito la transferencia externa y la asimilación de tecnología. Se dice de Japón que efectuó mucha I&D para asimilar la tecnología americana durante los años sesenta y setenta.

La tecnología se transfiere en muchas formas que es necesario de manera creciente aprender a gestionar. Por ello es conveniente mirar los canales disponibles para lograrlo.

- La corriente de libros, publicaciones periódicas y otra información publicada.
- El movimiento de personas entre los países, incluyendo la inmigración, los viajes de estudio y de otra índole.
- El conocimiento de los bienes producidos en otras partes.
- El entrenamiento de estudiantes y de técnicos, y el empleo de expertos extranjeros.
- Los intercambios de información y de personal mediante los programas de cooperación técnica.
- La importación de maquinaria y equipo y la literatura correspondiente.
- Los acuerdos sobre patentes, licencias en general y conocimientos técnicos.
- La inversión extranjera directa y la operación de las corporaciones transnacionales.

Hasta ahora se puso mucha mayor atención a la compra de maquinaria como canal de transferencia. De hecho, muchos empresarios acuden a las ferias para hacerlo, es su medio preferido y todavía es casi equivalente compra de equipo a transferencia. Pero hay otras formas que han venido ganando en comprensión y en gestión. Se ha difundido una relativa capacidad negociadora en materia de los contratos de licencia, por ejemplo. Queda mucho por hacer, por ejemplo, en materia de orientación de la cooperación internacional y de las becas como medios de importación de tecnología.

2.6 Relaciones entre ciencia, tecnología e ingeniería

En la antigüedad la tecnología era un producto de la experiencia personal con las propiedades de las cosas y con las técnicas para manipularlas, se transmitía de generación en generación de maestros a aprendices. Hoy lo que se transmite no es simplemente un oficio sino toda una literatura; palabras, cifras e ilustraciones que describen y dirigen. Pero así como es de importante la acumulación del conocimiento práctico, lo es igualmente la contribución que la tecnología recibe del conocimiento de los principios básicos sobre el comportamiento de las cosas, es decir del entendimiento científico.

La ingeniería, o la aplicación sistemática del conocimiento científico en el desarrollo y operacionalización de la tecnología, ha crecido y se ha convertido de oficio en una ciencia de sí misma. El conocimiento científico puede suministrar los medios para estimar el comportamiento de las cosas, aun antes de fabricarlas o de observarlas; aun más, la ciencia a menudo sugiere nuevos comportamientos no imaginados antes, conduciendo así a nuevas tecnologías.

A menudo una nueva tecnología requiere nuevos conocimientos y, así mismo, una nueva investigación necesita una tecnología nueva. La tecnología, a su vez, se convierte en los ojos y los oídos de la ciencia e inclusive en sus músculos; el computador, por ejemplo, ha dado lugar a un progreso sustancial en el estudio de los fenómenos meteorológicos, los patrones demográficos, la estructura del gene y otros sistemas complejos cuyo estudio de otra

forma hubiera sido casi imposible. La tecnología es vital para los propósitos científicos de medida, recolección de datos, tratamiento de muestras, cálculos, transporte (a la Luna, a la Antártida, a los fondos marinos), obtención de muestras, protección de substancias peligrosas y comunicación. La tecnología produce más y mejores instrumentos y técnicas que posibilitan el avance acelerado de las diversas líneas sobre las que se mueve la actividad científica.

La tecnología no sólo suministra herramientas a la ciencia; puede también dar motivación y dirección a la teoría y a la investigación. La teoría de la conservación de la energía, por ejemplo, se desarrolló en gran parte por el aguijón del problema de la eficiencia de las máquinas de vapor. Los mapas genéticos del ser humano han sido impulsados por la tecnología de la ingeniería genética, la cual al mismo tiempo que los hace posibles, los justifica.

En síntesis, los científicos descubren patrones en los fenómenos para tratar de entender el mundo que nos rodea; así mismo, los ingenieros buscan patrones para tratar de manipularlo. El científico quiere demostrar que la teoría explica los datos; el matemático persigue pruebas lógicas de relaciones abstractas; el ingeniero trata de demostrar que los diseños funcionan.

2.7 El diseño de la tecnología

Todo diseño opera dentro de límites que deben ser identificados y tenidos en cuenta. Algunas de estas limitaciones son de tipo absoluto, como en el caso de las leyes físicas o las propiedades de la materia (el principio de conservación de energía, y las características de flexibilidad, conductividad eléctrica y de fricción). Otras son más elásticas, tales como las de índole económica, política, social, ecológica y ética. Un diseño óptimo debe tener en cuenta todos estos condicionantes y lograr un compromiso razonable con cada uno de ellos.

Por ejemplo, el material más pesado no necesariamente es más fuerte; la forma más eficiente puede no ser la más segura o la más estética. Por tanto, cada problema de diseño se presta a varias soluciones alternativas, dependiendo de los valores que la sociedad asigna en cada uno de los condicionantes. Otro limitante lo constituye el contexto en el cual se desempeñará la tecnología. La mayoría de los productos deben ser operados, mantenidos, y finalmente reemplazados, con ciertos costos, incluyendo la necesidad de personal especializado. Todo diseño debe pasar por una prueba antes de su producción a escala industrial o de su empleo en condiciones reales; por razones prácticas y económicas los ensayos necesarios se hacen a menudo con modelos más pequeños, simulaciones por computador, análisis de sistemas análogos (animales de laboratorio en lugar de seres humanos, por ejemplo) o las pruebas de componentes separados solamente.

Cualquier sistema producido por la tecnología requiere control. La esencia del control radica en la comparación de información sobre lo que está suce-

diendo con lo que queremos que suceda, para luego hacer los ajustes necesarios. El control requiere retroalimentación (feedback) y los medios para producir cambios. Por ejemplo, un horno doméstico es un dispositivo relativamente simple que compara la información captada por un sensor térmico con la temperatura que se fija con un control, para efectuar el cambio que se requiera activando o apagando un elemento calentador. El automóvil es un sistema mucho más complejo, compuesto de subsistemas que controlan la temperatura del motor, la tasa de combustión, la velocidad, la dirección, etc. Hoy la microelectrónica hace posibles controles lógicos en una gran cantidad de máquinas, por medio de los llamados microprocesadores, los cuales en un espacio muy reducido efectúan las tareas de captar información, hacer comparaciones y realizar tareas. A medida que los sistemas de control se vuelven más complejos requieren a su vez de coordinación, lo cual implica controles adicionales a otros niveles; de todos modos cualquier sistema tecnológico precisa del control humano, en una u otra forma, como elemento último, para atender el propósito y naturaleza y el contexto en el cual opera dicho control.

2.8 Perfil del ingeniero: profesional de múltiples talentos

Una frase de Alfred Sloan, ex presidente de la General Motors, describe muy bien la contribución del ingeniero, protagonista principal del desarrollo tecnológico: “El ingeniero tipifica el siglo XX. Sin su genio y las vastas contribuciones que ha hecho en diseño y producción desde el ángulo material de la existencia, nuestra vida contemporánea no habría alcanzado jamás sus niveles actuales”.

La prueba de esta afirmación de Sloan es visible hoy por doquier: los sistemas que nos proveen alimento, agua, combustible; las redes de transporte, telecomunicaciones; buena parte de los medios para curar nuestras enfermedades y algunos para prolongar la vida; nuestra recreación a través de la televisión y la radio; nuestra conexión incluso electrónica al mundo por canales revolucionarios como el relativamente reciente Internet. Ésos y muchos otros son los productos incontables de la habilidad y del quehacer de la ingeniería. Sin embargo, su papel no es tan bien comprendido por lo general.

Una razón para tener esta impresión del ingeniero moderno es su estrecha asociación con el científico. Ambos personajes se parecen, hablan de modo similar, se preocupan por ecuaciones similares. No es fácil distinguirlos. En ciertas industrias como las telecomunicaciones y el plástico no se sabe muy bien donde termina el trabajo del científico y donde comienza el del ingeniero.

La distinción más básica entre las profesiones “gemelas” de la ciencia y de la ingeniería radica en sus finalidades. El científico apunta hacia el descubrimiento de nuevo conocimiento, útil o no, mientras que el ingeniero lucha por aterrizar el conocimiento, antiguo o nuevo, y usarlo para resolver las necesidades de la humanidad. Así las cosas, un físico alemán, Heinrich Herz, des-

cubrió las ondas radiales, pero Guillermo Marconi, desarrolló la telegrafía sin hilos, una hazaña de la ingeniería. Otro ejemplo: después de establecer los principios científicos de la fisión nuclear, crear armas atómicas o centrales nucleares útiles, fue un logro posterior de los ingenieros mecánicos, eléctricos y químicos.

La anterior descripción del ingeniero puede hacerle parecer demasiado dependiente del científico, algo así como si se ganara la vida desarrollando las ideas producidas en el laboratorio del segundo. Sin embargo, y en realidad de verdad, los científicos son tan dependientes del trabajo de los ingenieros que podríamos poner al revés la situación anterior, pues buena parte de los descubrimientos de la ciencia ha partido de la ingeniería.

El ejemplo clásico lo constituye la gestación de los principios de la termodinámica, la ciencia de calor, aportados por Carnot, un físico francés quien se dedicó tiempo considerable a estudiar las máquinas de vapor que habían sido ya desarrolladas por ingenieros que no tuvieron justamente una ciencia que los guiara.

Es difícil enfocar el oficio del ingeniero de una manera restringida, pues por otras razones se le presenta más bien como un hombre de múltiples talentos. Algunos ingenieros trabajan como solitarios, obvio que muchos menos hoy que ayer. Otros, son altamente especializados; por ejemplo, un ingeniero basará su práctica en una sola función, por ejemplo la instalación de unidades de frío para preservar alimentos. Pero la gran mayoría de ingenieros son ejecutivos de amplio calibre, gestores calificados de varias tecnologías y capaces de combinar y coordinar equipos de especialistas. Un ingeniero exitoso debe ser con frecuencia un excelente vendedor, pues a menos que pueda convencer a los no ingenieros de que pongan sus ideas o mecanismos a trabajar, sus esfuerzos podrían caer en el vacío.

Un rasgo típico del ingeniero es su talante pragmático: le pone el hombro a los problemas más terrestres de la civilización con el ánimo de resolverlos y lo logra de manera eficiente, aunque puede llegar a su meta por diferentes caminos. Paradójicamente, este hombre tan práctico puede usualmente ser a la vez un visionario que sueña sobre mejores formas de hacer un trabajo, que usa su inventiva y creatividad para establecer un sistema totalmente nuevo o que aplica un viejo método en una forma innovadora e imaginativa.

En los últimos 200 años los ingenieros han producido un conjunto apreciable de máquinas, técnicas y conceptos que están en la base de nuestra actual civilización. Algunos de esos ingenieros han originado nuevos aparatos, como el primer aeroplano de los hermanos Wright. Pero muchos otros han sido seres como James Watt o Henry Ford, que poseyeron la visión y la habilidad para refinar una invención existente hasta el punto de llevarla hasta su difusión práctica en la sociedad.

La contribución de los ingenieros al desarrollo de un país es evidente, aunque de diversas maneras y según el grado de avance de los mismos. Ciertas razones históricas lo explican, como anota Gabriel Poveda Ramos, en su "Ingeniería e historia de las técnicas en Colombia". Sólo al terminar las guerras de independencia y comenzar la república surge la ingeniería en Colombia y en América Latina. La tecnología que nos dejó la colonia era rudimentaria y anticuada en comparación con la de los países europeos de su tiempo. Anota Poveda que, en este sentido, las colonias inglesas de América del Norte fueron más afortunadas. También que los ingenieros colombianos han contribuido más como buenos *aprendices* de conocimientos de ingeniería, sean ellos tradicionales o recientemente importados, pues muy poco han hecho en materia de innovación tecnológica ni en las ciencias propias de la profesión que merezca reconocerse históricamente. Su capacidad de invención y descubrimiento de hechos o de artefactos nuevos ha sido muy poca.

En el recuadro 2.1 se destacan algunos ingenieros célebres internacionalmente y sus contribuciones históricas de manera resumida, en el entendido que son aportes universales a la tecnología que el lector debe encontrar de interés para ilustrar el tema que nos ocupa.

Recuadro 2.1: Grandes ingenieros de la revolución industrial a la II guerra mundial

James Brindle (Inglés, 1716 – 1772)	Diseñó la red de canales fluviales que sirvieron como el sistema más importante de transporte en Inglaterra hasta el advenimiento de los ferrocarriles a comienzos del siglo XIX.
James Watt (Escocés, 1736 – 1819)	Aunque se le atribuye la invención de la máquina de vapor, su mayor aporte fue el desarrollo de un condensador que hizo más eficientes a las máquinas existentes. En asocio con el industrial Boulton, abrió una fábrica donde continuó mejorando y produciendo dichas máquinas.
Eli Whitney (Americano, 1765 – 1825)	Mejor conocido por su invento de la desmotadora de algodón, fue además pionero de la manufactura de partes intercambiables, un concepto que llevó a la moderna producción masiva.
George Stephenson (Inglés, 1781 – 1818)	Es famoso por haber establecido el ferrocarril a vapor que dominó por casi un siglo el transporte terrestre. Construyó las primeras locomotoras a vapor, el primer ferrocarril de carga y de pasajeros y con su hijo diseñó muchas trochas y puentes para sus trenes.

(Continúa...)

(Continuación)

Frederick Siemens (Alemán, 1826 – 1904)	En compañía de sus hermanos desarrolló el horno regenerador todavía ampliamente usado en la refinación del acero. El horno usa el subproducto de gases calientes para precalentar el combustible y el aire que alimentan el horno, manteniendo el calor y fundiendo las impurezas que pueden separarse del acero.
Nikolaus A.Otto (Alemán, 1832 – 1891)	En 1876 Otto construyó el primer motor de combustión interna en forma completamente exitosa, lo que hizo posible el desarrollo del automóvil. La máquina ganó popularidad y Otto abrió una fábrica que entregó 50.000 motores en 17 años.
Ernest Solvay (Belga, 1838 – 1922)	Pionero de la Ingeniería Química, Solvay inventó una nueva forma de producir soda cáustica (carbonato de sodio) a partir de salmuera, cal y amoníaco. Todavía en uso hoy, el proceso Solvay es muy económico debido a que la mayoría de materiales que usa son recuperables y reciclables.
Thomas A.Edison (Americano, 1847 – 1931)	Más conocido por inventar el bombillo incandescente, Edison fue uno de los primeros en aplicar las técnicas de la ingeniería de sistemas. Su carrera marca la transición entre la ingeniería de ensayo y error y la actual ingeniería científica y de trabajo en equipo, a partir de sus “factories of invention”.
Frederick W Taylor (American, 1856 – 1915)	Taylor fue quien introdujo la eficiencia o los métodos de la “administración científica” en la industria. Mientras trabajaba en una acería en Filadelfia, realizó los primeros estudios de tiempos y movimientos de trabajadores fabriles, mejoró las técnicas de fabricación de acero, desarrolló nuevas herramientas y sugirió un sistema de remuneración por incentivos.
Guillermo Marconi (Italiano, 1874 – 1937)	En 1.901 Marconi asombró al mundo al enviar el primer mensaje transatlántico sin hilos. Aplicando la teoría de las ondas radiales que había sido unos cuantos años antes, desarrolló el aparato para hacer práctica la transmisión telegráficas sin hilos. Empleó el resto de su vida promoviendo y mejorando la telegrafía radial.
Leo H. Baekeland (Belga–americano, 1863–1944)	En 1907 Baekeland inició la moderna era de los plásticos cuando calentó fenol y formaldehido

(Continúa...)

(Continuación)

	bajo presión para producir la bakelita, el primer plástico verdaderamente sintético. Ha sido sumamente versátil al punto que ha sido usado para muchas cosas, incluidas muchas partes para automóvil.
Henry Ford (Americano, 1863 – 1947)	Ford prácticamente puso en ruedas a una nación enseñándole como manufacturar automóviles económicos, durables y prácticos. Desarrolló diseños simples que permitieron reparaciones fáciles y fue pionero de la producción en la línea de ensamblaje de unidades estandarizadas.
Vladimir Zworykin (Ruso- americano, 1889)	Es en buena medida responsable por hacer de la televisión una realidad práctica. Entre sus múltiples contribuciones recordamos el iconoscopio, un "scanner" electrónico similar a aquellos usados en las cámaras de televisión.

NATURALEZA DE LA TECNOLOGÍA
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 2

1. ¿Cómo podemos entender la tecnología en el sentido más amplio?

2. En el mundo actual la tecnología ha asumido las características de una compleja empresa social. ¿Por qué?

3. Al discutir las relaciones entre ciencia y tecnología, se suele citar el ejemplo de la contribución de la tecnología a la teoría de la conservación de la energía. Un problema completo permitió ampliarla y desarrollarla. ¿A qué nos estamos refiriendo?

4. En el diseño de la tecnología existen limitantes naturales, dados por las leyes físicas o por las propiedades de la materia, pero también existen otros limitantes del contexto que deben ser tenidos en cuenta. Refiérase a ellos.

CLAVE DE RESPUESTAS
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 2

1. Como la capacidad para cambiar el mundo, como transformación de lo que nos rodea.

2. Porque la tecnología puede hacer parte de las aspiraciones humanas como el conocimiento, el arte y el control sobre las cosas.

3. Al problema de la eficiencia de las máquinas a vapor.

4. Limitantes de orden político, económico, social, ecológico y ético y de los valores que la sociedad asigne a sus condicionantes.

3. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EXPERIMENTAL: MOTOR DEL DESARROLLO CONTEMPORÁNEO

Interesa describir un poco mejor el término I&D para obtener su comprensión general, pues puede aparecer demasiado oscuro o sofisticado a simple vista, máxime en el medio colombiano y latinoamericano donde la industrialización trunca –como la llamó Fernando Fajnsilver– careció de la creatividad necesaria para aportarle tecnología. “Que la hagan otros”, contestó algún ilustre pensador a la pregunta que un estudiante le hacía a propósito del destino exclusivamente humanista de su nación.

Tales situaciones ante el tema revelan la relativa poca comprensión por parte de nuestros propios dirigentes de este moderno concepto. Se cree tan distante la I&D y tan propia de los países industrializados, que al parecer no valdría la pena intentar entenderla y manejarla para nuestros propios fines productivos. Se deja a los “expertos” que se ocupen de ello, a una minoría de científicos, ingenieros o administradores. Sin embargo, uno de los supuestos que sustenta la serie *“Aprender a investigar”* es otro: los universitarios deben motivarse y familiarizarse con estos significados, volverlos parte de su cultura.

3.1 Importancia económica y social de la I&D

Para fijar mejor el alcance y la importancia de los términos Investigación & Desarrollo, acuñados hoy como expresión universal no sólo en las universidades, los laboratorios y las industrias, sino en las revistas y aún en los medios masivos, se destacan algunas dimensiones de su influencia:

- La I&D se constituye en concepto de uso internacional y esencial del siglo XX y seguramente del próximo y es un ingrediente básico de la cultura y la civilización actuales.

Los esfuerzos para generar descubrimientos e invenciones crecientemente concentran su atención en la “Red de Investigación y Desarrollo Experimental”. Este sistema profesionalizado se conoce por lo general como las iniciales abreviadas de I & D en los países industrializados. “Su crecimiento es quizás el cambio social y económico más importante en la industria del siglo XX”, sostiene un célebre estudioso de la economía de la I&D, el Profesor Freeman.

No nos interesa tratar en este opúsculo la I&D tanto como ente académico sino en cuanto se relaciona con temas centrales de la economía y de la sociedad. El concepto de la I&D permea múltiples espacios de la sociedad actual, es un hecho sociocultural y está muy cercano al corazón de la organización productiva y de los mercados y, por lo tanto, del desarrollo de los países. La I&D contribuye de modo especial en la génesis de los productos y servicios que colman las necesidades de todo orden de la sociedad humana. Ver la I&D desde la óptica de su aporte práctico a la sociedad es el propósito

del presente tema, como señalando de otra manera el tipo de cosas que se pueden hacer con ella.

- La I&D posee enorme potencialidad económica y de cambio en la sociedad, en virtud de sus resultados finales, productos y servicios.

Como fue recordado por Jorge Sábato, el universo se ha llenado de productos, procesos y equipos que no existían y no hubiesen existido jamás si no hubiera sido por el talento y la creatividad del hombre. En este razonamiento radica un campo fecundo de observación y de reflexión para entender lo que significan hoy las dos letras I&D.

Los productos de la civilización industrial que con mayor o menor intensidad cobija a casi toda la sociedad humana de nuestro tiempo están íntimamente conectados con los diversos procesos de producción de conocimiento. Es esa producción organizada y disciplinada a la que interesa referirnos en el presente tema, en tanto constituye uno de los motores por excelencia del proceso de creación y desarrollo de nuevos productos, procesos, sistemas o servicios. La I&D es una de las turbinas que sostiene la creación de nuevo conocimiento.

No se quiere acá disminuir la importancia de la diseminación del conocimiento a través del sistema educativo, de la capacitación profesional, de los medios masivos y de los servicios de información. No se quiere negar que en buena medida y a corto plazo se puede acelerar el progreso simplemente mediante la aplicación de técnicas disponibles en el acervo de conocimiento existente. Pero esta situación llega a un tope. Oigamos al Profesor Freeman a este respecto: "Ningún mejoramiento en la educación y en la calidad de la fuerza laboral, ni siquiera los esfuerzos mayores de difusión a cargo de los medios masivos o los cambios en las economías de escala o cambios estructurales, o las mejoras en la gestión empresarial o en la administración pública podrían en última instancia y por sí solos trascender las limitaciones tecnológicas de una vela como fuente de energía, o del hierro como material de ingeniería, o de los caballos como medios de transporte. Sin innovación tecnológica, el progreso económico cesaría en el largo plazo".

3.2 La I&D como "el invento para inventar"

No en vano Whitehead llegó a entender Investigación y Desarrollo como el "invento para inventar". Podría agregarse, como veremos más adelante, que este invento no sólo es científico sino de gestión: cómo encadenar eslabones en distintas fases del proceso que va desde una idea hasta un producto, una máquina, un sistema o un nuevo proceso, siendo la I&D una fase vital entre varias del mismo.

Con ello queda dicho lo esencial: la mayoría de los productos desarrollados en nuestro tiempo llevan un componente de I&D. El "invento para inven-

tar" supone un método de gestión del ciclo que va desde la concepción de una idea alrededor de un problema, pasando por la generación de conocimiento a través de la investigación hasta el diseño de prototipos y productos finales según parámetros concebidos y preestablecidos experimentalmente. A simple vista se entiende la importancia económica que tiene el adecuado manejo de este método en una sociedad.

Hay algo común en el hilo conceptual contemporáneo de la I&D y que guarda estrecha afinidad con las modernas formas de hacer ciencia y tecnología. El nacimiento de las formas de llevar a cabo la I&D, a comienzos de siglo, nos remite a Edison, el Genio de Menlo Park, en su concepto de que su laboratorio no era convencional sino una "Factoría de Invenciones". Posteriormente Jorge Sábato habría de denominar a los grandes laboratorios de las compañías americanas como verdaderas "empresas o fábricas de tecnología". Siempre consideró Sábato que la gran rectificación pendiente en Latinoamérica era la de adoptar en su sistema de investigación y en sus instituciones el concepto movilizador de las fábricas de conocimiento.

Otros han llamado a esta actividad la "industria del descubrimiento" y la consideran una de las más rentables En el sector agropecuario, en estudios realizados en Chile, una serie de trabajos indican que la "industria del descubrimiento" tiene una tasa interna de retorno del 53%, siendo una de las industrias más prósperas y se caracteriza cada vez más por ser usuaria de una enorme cantidad de conocimientos de diferentes tipos, lo que supone un esfuerzo enorme de integración multidisciplinaria.

3.3 La I&D como empresa organizada y profesional

La I&D es una empresa que invierte miles de millones de dólares en el mundo y que emplea al menos a diez millones de científicos e ingenieros. Su expansión ha sido tan reciente que se calcula que el 90 por ciento de los científicos que han existido en el mundo vive en la actualidad.

Es preciso entender que la I&D es una de las empresas más organizadas de nuestros días. Para ello debemos mencionar a Freeman cuando se refiere a la existencia de un sistema de Investigación y Desarrollo. En realidad, la I&D es apenas una pequeña porción del amplio complejo de las industrias del conocimiento: la fuerza laboral profesional comprometida con I&D en un país como los Estados Unidos, es aproximadamente un dos por ciento del total y en muchos otros países alcanza un uno por ciento. Sin embargo, este sistema de I&D está en el corazón del complejo productivo moderno, puesto que en la sociedad contemporánea "éste origina una gran proporción de los materiales, productos, procesos y *sistemas mejorados y nuevos* que se constituyen en la fuente primaria y final del avance económico". Por ello, un porcentaje relativamente menor, pero altamente profesionalizado de la fuerza laboral moldea a ésta en su conjunto, pues de los cambios que ayuda a introducir nacen

incluso las nuevas ocupaciones, las necesidades de calificación y los desplazamientos laborales.

En buena medida, la I&D se constituye en una actividad profesional significativa que no es exógena a la economía de un país. Cuando un 2% de la fuerza laboral se dedica a ella, surge un “establecimiento profesional” diferenciado, como un nuevo grupo social, y por lo tanto sujeto de tensiones con otros grupos de la sociedad que pueden o no entender sus resultados y sus logros o que pueden querer o no su aplicación.

Es lo anterior tan cierto que las políticas de I&D han sido por varios decenios el meollo de las llamadas políticas nacionales de ciencia y tecnología, aunque veremos, a partir de recientes análisis, que el énfasis se viene trasladando a las llamadas políticas de innovación, de las cuales la I&D es apenas una parte.

Un corolario de lo anterior ha sido la importancia que históricamente se adjudicó en la medición de la I&D en los países industrializados a lo largo de los años 70, en un intento por manejar la inversión en I&D como un importante activo económico de un país. Este movimiento se produjo en el seno de la OECD. El desarrollo del Manual Frascati en sus varias versiones reflejó cabalmente esta preocupación. Se consideró en la discusión sobre ciencia, tecnología y desarrollo, que una adecuada descripción y explicación de las inversiones en cada una de las etapas del proceso de I&D facilitaría las definiciones de política. La UNESCO en América Latina influyó en una dirección similar al tanto que los inventarios del potencial científico de la OEA partían de definiciones análogas a las del manual Frascati y con su realización prácticamente se iniciaron los denominados Consejos Nacionales de Ciencia y Tecnología de la región a fines de los años 60.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EXPERIMENTAL
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 3

1. La Investigación y Desarrollo ha logrado grandes impactos en la economía a partir de un hecho crucial de la industria de Siglo XX. ¿Cuál es ese hecho?

2. Se ha entendido a la I&D como el “invento para inventar”. Esto sintetiza su poder como método de gestión y organización. ¿A qué se debe dicho poder?

3. Los países industrializados estuvieron muy preocupados por predecir a partir de cifras de la inversión en ciencias y tecnología y de la medición de recursos humanos en los años 70. El método resultante de medida ha sido conocido internacionalmente por una obra. Cítela.

CLAVE DE RESPUESTAS
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 3

1. La generación de nuevos productos y procesos, a la cual está íntimamente ligada la I&D.

2. Su poder se origina en que mediante su uso se puede pasar desde la idea hasta la materialización de un producto, incorporando variables de mercado.

3. El Manual Frascati.

4. NOCIONES BÁSICAS SOBRE INVESTIGACIÓN & DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 La I&D en sus términos más generales

La I&D comprende, según el Manual Frascati, el “trabajo creativo realizado sobre una base sistemática con el fin de aumentar el acervo de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad y el uso de este acervo de conocimiento para inventar nuevas aplicaciones”.

Se distinguen usualmente varias actividades creativas bajo el concepto I&D: Investigación Básica, Investigación Aplicada y Desarrollo Experimental. En una próxima sección presentaremos de manera introductoria los conceptos de innovación tecnológica íntimamente relacionados. Estas actividades se han vuelto objeto de la gerencia y se programan con exigentes métodos. Incluso hay autores como Sauder que focalizan su concepción de la gestión tecnológica en el adecuado manejo de cada una de estas fases, vistas como un ciclo, hasta llegar al mercado con diversos productos.

Es oportuno decir también en esta breve introducción que Frascati recoge el concepto generado por la UNESCO de Actividades Científicas y Tecnológicas (ACT) y bajo el cual se agrupa una serie de actividades sistemáticas estrechamente relacionadas con la generación, adelanto, divulgación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico en todos los campos de la ciencia y la tecnología. Estas incluyen actividades como I&D, educación y entrenamiento científico y técnico y los servicios científicos y tecnológicos, en los cuales cabe la metrología, la certificación y la normalización técnica.

4.2 La investigación básica

Es investigación original para adquirir nuevo entendimiento y conocimiento científico. No está dirigida hacia aplicaciones prácticas específicas. El Manual Frascati la entiende como el trabajo experimental o teórico realizado principalmente para adquirir un nuevo conocimiento de la base de los fenómenos y hechos observables subyacentes, sin ninguna aplicación o uso particular en perspectiva.

La investigación básica produce nuevas hipótesis y teorías y genera leyes. Comprende el análisis de las propiedades, estructuras e interrelaciones de sustancias y fenómenos de todo tipo con el fin de organizar los hallazgos en torno de leyes generales que usan esquemas explicativos y teorías interpretativas. La investigación básica no tiene aplicaciones específicas inmediatas a la vista pero puede ser orientada hacia un área de intereses para la organización que la ejecuta.

Los resultados de la investigación básica no son negociables y son publicados usualmente en revistas científicas y circulados entre colegas interesados.

La investigación básica puede ser asumida por científicos que le trazan sus propias metas y que en gran medida organizan su propio trabajo.

En la investigación básica pura es generalmente el interés científico del investigador, quien determina la materia estudiada. En la investigación básica orientada la organización que emplea al investigador normalmente dirigirá su trabajo hacia un campo de interés presente o potencial, de tipo científico, económico o social.

La investigación básica se suele llevar a cabo en las universidades y centros de investigación. Como no es apropiable directamente por las empresas, y por la conveniencia de su difusión, se recomienda universalmente su financiación por parte del Estado, incluyendo el reconocimiento de estímulos a los investigadores.

El papel crítico para el avance de esta actividad lo juega el grupo de investigación, cuyo propósito es la renovación del conocimiento y la creación de nuevos modelos interpretativos de la realidad. Contribuyen al éxito de esta actividad el nivel científico del grupo de investigadores, su trayectoria y sus instrumentos metodológicos y su acceso a la información. Por lo regular, la medida de su producción y productividad está dada en publicaciones, a las que se aplica la cienciometría internacional con herramientas como el Science Citation Index.

Se suele distinguir en un nivel mayor de desagregación entre básica pura y básica aplicada:

- La investigación básica pura pretende únicamente hacer ciencia, es decir, contribuir a la ampliación del conocimiento sobre determinados temas elegidos al azar.

- La investigación básica dirigida difiere de la anterior en que selecciona las líneas de trabajo de modo que, de los resultados que se obtengan, pueda derivar alguna utilidad no concretada a priori.

Se entenderá mejor la investigación básica en general mediante la ilustración de un proyecto específico en astronomía que se presenta en el recuadro siguiente.

Recuadro 4.1: Ejemplo de investigación básica: "*Estudios físicos de las estrellas pulsantes delta cephei y su uso para la determinación de las distancias de sistemas extragalácticos*".

Las cefeidas pueden ser consideradas como estrellas amarillas supergigantes. Debido a su elevada luminosidad interna se destacan notoriamente de otros tipos de estrellas que se encuentran a la misma distancia. Las cefeidas proporcionan los medios para calcular distancias que están más allá del límite a que ha llegado la ciencia tradicional. Ellas sirven para ampliar la escala de distancias, a través de una nueva ley astrofísica que determina la variación del brillo y el período que dura la contracción y la dilatación de estas estrellas.

De las observaciones fotométricas y espectroscópicas de la cefeida "double mode" cassiopeias, obtenidos en Kitty Peak National Observatory, se espera analizar la información respecto a la posibilidad de una tercera oscilación y el posible cambio con el tiempo, del contenido de energía mecánica de las dos oscilaciones principales de la estrella. De ahí se espera información importante respecto a la naturaleza de las cefeidas "double mode" y a su estado de evolución.

4.3 La investigación aplicada

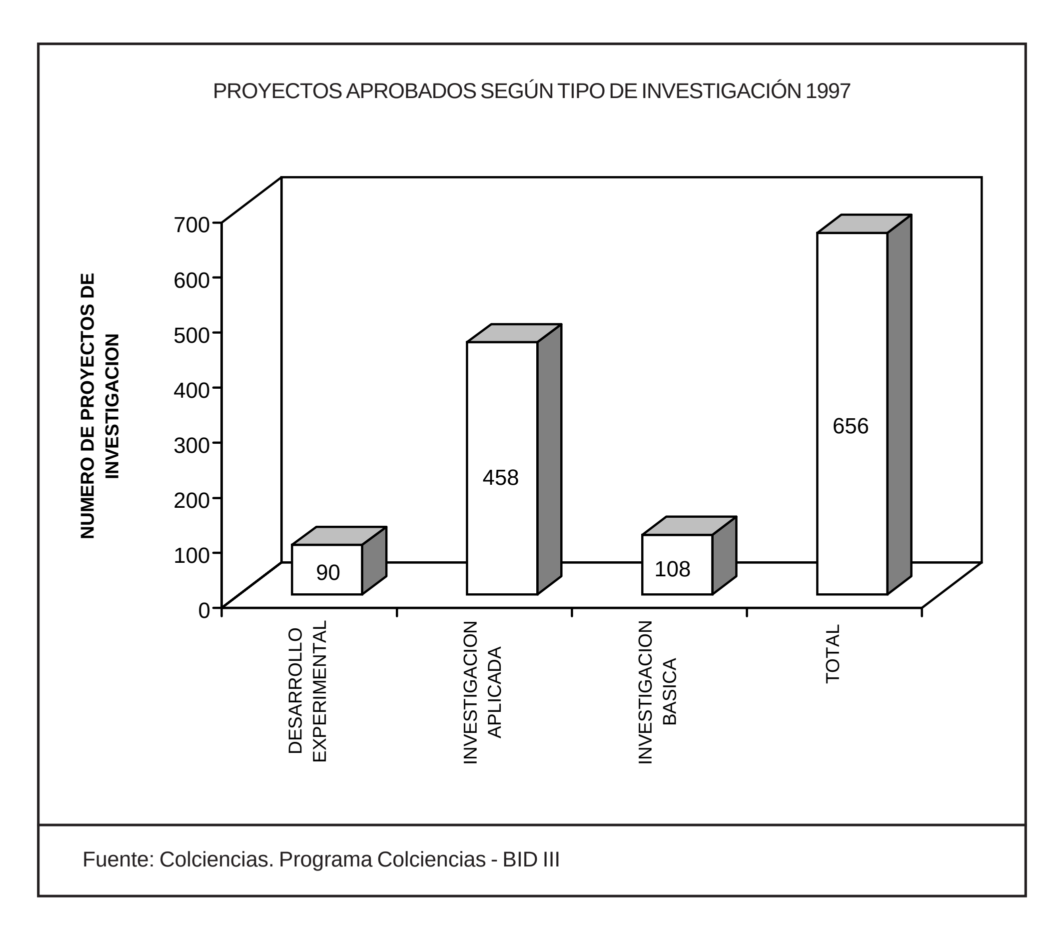
La investigación aplicada es también investigación dirigida a conseguir conocimiento científico y/o tecnológico, pero se dirige, sin embargo, hacia fines prácticos o hacia un objetivo.

La investigación aplicada es emprendida bien para determinar los posibles usos de la investigación básica o para determinar nuevos métodos o formas de lograr algunos objetivos específicos y predeterminados. Considera el conocimiento disponible y su extensión para resolver problemas particulares.

Los resultados de la investigación aplicada se pretende, en primer lugar, que sean válidos para un número determinado de productos, operaciones, métodos y sistemas. La investigación aplicada desarrolla y transforma ideas en formas operacionales. El conocimiento o la información derivados de ella son a menudo patentados pero pueden ser mantenidos en secreto.

En los países en desarrollo, como el caso de Colombia, se realizan relativamente menos proyectos de investigación básica. En la figura 1 podemos apreciar el peso aproximado de la financiación de proyectos en 1997.

Cuadro 4.1. Tipos de investigación en Colombia



Fuente: Colciencias. Programa Colciencias - BID III

Un buen número de proyectos pueden considerarse como de investigación aplicada. Casi siempre estos proyectos se refieren a la investigación de variables críticas del proceso, aunque –en nuestro medio caracterizado por el incipiente desarrollo científico-tecnológico– pocas veces sus resultados se articulan con esfuerzos de desarrollo tecnológico e innovación. Falta quien integre los conocimientos resultantes de esta actividad a los procesos productivos del país. Del “frente terminal” de la investigación aplicada muchas veces no se prosigue a la fase siguiente de desarrollo experimental, siendo éste uno de los cuellos de botella tradicionales en el país.

Para mejor comprensión remitimos al lector al recuadro 4, a fin de que pueda captar con dos ilustraciones el significado de la investigación aplicada.

Recuadro 4.2: Ejemplos de investigación aplicada:

Nº 1. Desarrollo de medicamentos por medio de especies vegetales autóctonas

Las hojas y los tallos de una planta colombiana que se da en Antioquia contienen una sustancia denominada por los científicos como withajardinas, la cual estimula los mecanismos de defensa del ser humano. En forma de medicamento, esta sustancia podrá utilizarse en enfermedades como la artritis reumatoidea, el lupus, el asma o en intervenciones quirúrgicas para transplantes de órganos. Este es el resultado de un proyecto de investigación financiado parcialmente por Colciencias y realizado por los grupos de química orgánica de productos naturales e inmunología celular y el de inmunogenética de la Universidad de Antioquia, con participación de la Universidad de la Laguna, en España. La contribución que esta investigación hace a la medicina, hizo posible que los grupos mencionados obtuvieran la patente en Estados Unidos, para la producción de medicamentos a partir de dicha sustancia.

Nº 2. Estudio de arrecifes coralinos

1997 fue declarado el año internacional de los arrecifes coralinos. Este año coincidió con la entrega de los resultados de una investigación realizada por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Invemar, "José Benito Vives de Andreis", sobre siete ecosistemas colombianos. Entre las conclusiones del estudio hay dos noticias, una mala y otra buena. La mala es que existe un promedio de 50% de mortalidad de corales debido no tan sólo a la intensa actividad humana como en el caso de San Andrés, sino también a problemas por el cambio climático global, como se manifiesta en lugares remotos y aislados, como por ejemplo en los cayos de Serrana y Roncador. La buena noticia es que a raíz de los resultados del estudio, la Corporación Coralina de San Andrés está poniendo en práctica planes de conservación y ordenamiento ambiental que benefician estos ecosistemas.

4.4 Desarrollo experimental

El desarrollo experimental es el uso del conocimiento científico para producir materiales, aparatos, productos, procesos, sistemas o servicios nuevos o sustancialmente mejorados.

El desarrollo experimental es un trabajo sistemático que parte del conocimiento existente, de aquel que se genera en la investigación o de la experiencia práctica, y cuyo objetivo es producir nuevos materiales, productos o aparatos; montar nuevos procesos y sistemas y mejorar sustancialmente aquellos ya producidos o que se encuentran en funcionamiento. Comprende a su vez desarrollo de prototipos y construcción y operación de planta piloto.

Un ***prototipo*** es un modelo original sobre el cual se materializa un nuevo patrón y del cual se derivan presentaciones o copias del mismo tipo. Es un

modelo básico que posee todas las características esenciales del producto reproducido.

La construcción y operación de una ***planta piloto*** es parte de la I&D, en tanto el propósito principal es obtener experiencias y compilar datos de ingeniería y de otra índole para ser usados en la evaluación de hipótesis; la redacción de nuevas fórmulas de productos y el establecimiento de nuevas especificaciones de productos, etc.

Recuadro 4.3: *El significado del desarrollo experimental y su evolución*.

La ingeniería química nació de la industria no simplemente como la aplicación práctica de la ciencia química sino más bien como una integración de la química con la ingeniería mecánica. Una planta moderna de procesos químico no es una versión amplificada de los tubos de ensayo y de los reactores en que fueron originalmente hechos los descubrimientos científicos. Este tipo de escalamiento no es factible técnica y económicamente. Otros procesos completamente diferentes tuvieron que ser inventados para poder manejar esta situación. La transición, por ejemplo, del vidrio con el que W.H. Carothers produjo los primeros polímeros en los laboratorios de DuPont a la manufactura comercial y en gran escala de dicho producto, es una transición que tomó años de muy serios esfuerzos de desarrollo, lo que aparejó una actividad inventiva muy significativa. Ciertamente, las complejidades de la transición son tan grandes que los ingenieros químicos tuvieron que inventar una singular tecnología y método para ello, justamente la planta piloto.

Basado en Nelson y Rosenberg, *National Innovation Systems*, 1993.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EXPERIMENTAL (I+D) AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 4

Después de cada enunciado, diga si se trata de proyectos de Investigación Básica, Aplicada, Desarrollo Experimental o Innovación Tecnológica.

a. «Utilización de microorganismos en la recuperación ambiental por medio de biotecnología»

---

b. «Efectos del nivel freático en el desarrollo radicular de árboles cítricos».

---

c. «La deuda pública colombiana en el contexto de las crisis financieras internacionales 1.920-1.985».

---

d. «Calculadoras, gráficos y precálculo, un aporte a la enseñanza y el aprendizaje del álgebra».

---

e. «La partícula elemental en la teoría estocástica de campos».

---

f. «Desarrollo de un proceso para la producción de carbón activado en condiciones de alta calidad (para el mercado colombiano)».

---

g. «Diseño y fabricación de una válvula mecánica para el tratamiento de pacientes con hidrocefalia».

---

h. «Desarrollo y escalamiento de la producción de vacunas antimalásicas».

---

i. «Establecimiento de un método cuantitativo para el control de calidad de harinas compuestas a escala piloto».

---

j. «Estudio físico de las estrellas Delta Cephei y su uso para la determinación de las distintas de sistemas extragalácticos».

CLAVE DE RESPUESTAS
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 4

Las respuestas correctas son:

a. Investigación Aplicada
b. Investigación Aplicada
c. Investigación Aplicada
d. Investigación Aplicada
e. Investigación Básica
f. Innovación Tecnológica
g. Innovación Tecnológica
h. Desarrollo Experimental
i. Desarrollo Experimental (Planta Piloto)
j. Investigación Básica

5. DISCUSIÓN SOBRE EL PROCESO MISMO DE I&D

5.1 El modelo lineal

En la sección anterior hemos asumido en aras de su mejor comprensión los conceptos más universales de los procesos de Investigación y Desarrollo, sin preocuparnos mucho sobre como funcionan juntos y como interactúan. Queda la sensación de que el proceso se comporta como una secuencia nítida de etapas que van de la I a la D y a la innovación, y que se inscribe dentro de un *modelo lineal.* En la vida real no opera lo lineal como podría creerse y suficientes críticas han sido hechas como para no matizar mejor la presente discusión. Es conveniente que el lector considere, por lo pronto, algunas críticas a las limitaciones de la operación del modelo lineal en la práctica:

- El modelo da la idea de secuencia cronológica y de acción, lo cual no es cierto en gran número de casos. El nylon, por ejemplo, inventado por Carothers en 1928 se convirtió en innovación sólo en 1939, o sea 11 años después; de igual manera mediaron 13 años en la xerocopiadora, 22 en la televisión, 53 en la cogedora de algodón y 79 en la lámpara fluorescente.
- El modelo sugiere que el proceso funciona de izquierda a derecha, es decir, que aumentando los recursos en la investigación producimos una presión que conduce a la innovación, pero la práctica ha demostrado una serie de hechos que desaprueban esta hipótesis. Por ejemplo, sólo una pequeña proporción de las patentes de invención pasa a la etapa de desarrollo; otra, aún menor, se llega a usar. La presencia del mercado que hace un efecto de “pull” gana mucha más validez en la actualidad y al menos se sugiere un balance adecuado “push-pull”.
- El modelo siempre sugiere que el proceso comienza siempre por la investigación, pero esto no es muchas veces así, pues cada una de las etapas interactúan con el exterior y con el resto del sistema, de manera que cualquiera puede ser el núcleo inicial de las nuevas ideas.
- Para algunos autores fogueados en la experiencia práctica de la I&D, resulta difícil adscribir un programa de trabajo a uno solo de los cuatro tipos de investigación mencionados. En efecto, cuando se desarrolla una línea de investigación aplicada suelen surgir problemas que requieren de la realización simultánea de investigación básica; por otra parte, el desarrollo experimental requiere el apoyo continuo de la investigación aplicada.
- En realidad, una secuencia completa de investigación dirigida a introducir una innovación, debería iniciarse con investigación básica, para crear el conocimiento científico; seguir con investigación aplicada, para adaptar a ese conocimiento científico al problema que se desee resolver, y terminar con una etapa de desarrollo tecnológico. Todo este conjunto de actividades lo conocemos como I&D. Ahora bien, no siempre es preciso realizar la secuencia completa ya que, con frecuencia, están disponibles los conocimientos básicos precisos, por lo que sólo se requiere estudiarlos y adaptarlos a un problema concreto, durante las etapas de investigación aplica-

da y desarrollo experimental, en cuyo caso se puede prescindir de la etapa de investigación básica.

- La distancia entre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico se ha acortado y esto aumenta la importancia estratégica de la primera. Los procesos productivos de hoy exigen mayor comprensión de los conocimientos científicos que subyacen a la tecnología que se utiliza, lo que está llevando a un mayor empleo de científicos en la industria y en la producción agropecuaria. Esta discusión fue relevante en el seno de la Misión de Ciencia y Tecnología, cuya conclusión prácticamente acabamos de transcribir y que se presenta posteriormente, en la sección 9.2.3.

Más adelante regresaremos a examinar algunos cambios profundos de enfoque sobre la producción de conocimiento y que justamente muestran significativas variaciones con respecto al denominado modelo lineal.

5.2 El plan de investigación y desarrollo a "ciclo completo"

En algún pasaje anterior señalábamos que uno de los defectos frecuentes de nuestros procesos de I&D era su desarticulación, pues mucha investigación no pasa de los resultados iniciales, no se convierte en desarrollo ni llega a la etapa de solución de problemas. La crítica frecuente de "falta de resultados" y dispersión de recursos puede relacionarse con fallas en la concepción y en la metodología misma de la I&D en nuestro medio, porque el sistema mismo privilegia los esfuerzos inconclusos.

Es preciso admitir, sin embargo, que no toda actividad de investigación debe desembocar en nuevos prototipos o plantas piloto, pues es natural que una buena proporción de la investigación sirva para formar investigadores y para alimentar la docencia de los temas especializados.

No obstante, preocupa la crítica hecha a mucha investigación que se guarda en los anaqueles. De alguna manera, las universidades y los centros especializados deben considerar en la gestión de la investigación la introducción del "Plan de Investigación y Desarrollo" a "ciclo completo", partiendo de las prioridades de investigación que se hayan determinado.

En Latinoamérica llama la atención el uso del término "ciclo completo" en el área de la salud en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), de Cuba, según estudio de caso preparado por Carlos Espinal y que se reseña en la bibliografía al final. El "ciclo completo" implica un proceso con todas las etapas de Investigación & Desarrollo y Aplicación, como son: investigación básica – aplicada – desarrollo – industrialización – socialización de la tecnología para su aplicación al problema. Esta concepción integral ha sido la base para el desarrollo de un proyecto específico como el Interferón, o como la vacuna contra la enfermedad letal producida por el meningococo B y C, o el desarrollo de técnicas de diagnóstico para el SIDA, la hepatitis B y las enfermedades congénitas.

A su vez, este proceso puntual ha permitido el desarrollo institucional de importantes centros de investigación a partir de la identificación del problema y la definición exacta de la pregunta, con el fin de institucionalizar el proceso científico e iniciar en una etapa posterior la apertura hacia otros temas igualmente definidos, de elevada pertinencia nacional y mundial. Ha sido una constante en la gran mayoría de nuestros países la creación de instituciones, departamentos, secciones y laboratorios, partiendo del espacio vacío que deberá llenarse primero con los investigadores y equipos, para luego identificar el problema y formular la pregunta.

Con base en la reflexión hecha sobre la institucionalización de la ciencia en Brasil, un notable estudioso, S.Schwartzman anotaba que “La experiencia parece indicar que las instituciones de investigación que desarrollan actividades múltiples dentro del proceso científico –investigación básica, investigación aplicada, desarrollo, difusión– tienen mejores resultados que aquéllas que se especializan en un momento único dentro de ese proceso. Los grupos de investigación de calidad son, normalmente, capaces de trabajar en todo el espectro de la actividad científico–tecnológica, mientras que los grupos más especializados corren el riesgo de quedar “congelados” en el dominio de determinadas técnicas, procedimientos y tradiciones”.

Algunas instituciones y desarrollos colombianos en varios sectores trabajan bajo el criterio de proyectos “a ciclo completo” y han producido resultados e innovaciones no sólo promisorias sino también efectivas ya en diversas esferas de aplicación en el sector agropecuario, en salud, en industria, etc. Las orientaciones y el apoyo financiero de Colciencias han sido claves para varios desarrollos que se presentan en el recuadro 5.1.

Recuadro 5.1: *Algunos ejemplos de investigaciones a “ciclo completo”.*

Desarrollo de:	**Entidad**
Variedad Colombia de Café	Cenicafé
Vacuna contra la Malaria	Instituto de Inmunología. UN
Vacuna combinada aftosa-rabia para bovinos	Vecol
Nuevo proceso de producción de ácido fumárico	Andercol
Nuevo proceso de producción de levadura para panadería	Levapan
Método de diagnóstico de Lehismaniasis	Cideím
Tratamiento de aguas sin uso de químicos	Cinara- U del Valle
Nuevo diseño de ascensores	Coservicios
Método de enseñanza de matemáticas para niños especiales	Grupo U.Pedagógica

(Continúa...)

(Continuación)

Sin embargo, por sus efectos en la economía cafetera colombiana, de la que sobra insistir en su importancia histórica y actual, conviene que el lector conozca mediante un recuadro especial, así sea a vuelo de pájaro, la evolución de la "Variedad Colombia", cuya afortunada producción, podría decirse que implicó conocimientos básicos de fitogenética de frontera y básica hasta la generación de conocimientos aplicados y el desarrollo en el terreno, advirtiendo que en lo agronómico la fase de desarrollo se lleva a cabo en el campo en parcelas experimentales, mientras que en la industria es en plantas piloto normalmente.

Recuadro 5.2: Ejemplo de I&D colombiana a "ciclo completo"

Después de más de veinte años de investigaciones y en ausencia del agente causal de la roya, CENICAFÉ puso a disposición de los caficultores una variedad con los atributos de productividad, calidad, adaptación y resistencia durable a la roya. Por primera vez en el mundo científico se había obtenido una variedad con dichas características, pero lo más destacable era el haberla obtenido antes de que el patógeno hubiera sido registrado en el país. El desarrollo de la variedad Colombia mereció ser galardonado con el Premio de Ciencias Alejandro Ángel Escobar para CENICAFÉ en cabeza de sus investigadores Jaime Castillo Zapata y Germán Moreno Ruiz, quienes fueron los fitomejoradores que condujeron la investigación durante veinte años.

Al respecto el Dr. Julio Carrizosa Umaña en su artículo titulado "Desarrollo sostenido en los ecosistemas cafeteros en Colombia", afirma: "Este ejemplo, casi único en Colombia, de planificación científica a largo plazo se concretó en un proyecto de investigación realizado por CENICAFÉ durante los siguientes veinticinco años, que concluyó en la creación de la "Variedad Colombia", resistente a la roya y con mayores índices de productividad que el Caturra. Cuando al principiar la década de los ochenta, la roya llegó a los países vecinos y se puso en estado de alerta a toda la comunidad cafetera, los científicos de CENICAFÉ tenían ya en sus campos de experimentación la nueva variedad y fueron capaces de introducirla en los cultivos comerciales en el momento preciso". Hasta aquí las palabras del Dr. Carrizosa.

Más recientemente, el Dr. Artie Browning, quien es uno de los más prestigiosos científicos del mundo en el mejoramiento genético, al referirse a la investigación que concluyó con la obtención de la variedad Colombia, afirmó: "La Investigación conducida en CENICAFÉ ha hecho la más grande contribución individual a la agricultura tropical desde cuando el Dr. Norman E. Borlaug ganó el Premio Nobel de la Paz como el padre de la revolución verde en 1970. La contribución de CENICAFÉ fue una nueva y superior variedad de café resistente a la roya, con nueva arquitectura y un sistema mejorado para cultivarla". Hasta aquí el Dr. Browning.

En la actualidad (1992), CENICAFÉ produce y distribuye a través de los Comités Departamentales de Cafeteros la semilla de la "Variedad Colombia", la cual en el lapso de 8 años ha sido sembrada en cerca de 300.000 hectáreas. La siembra de

(Continúa...)

(Continuación)

la “Variedad Colombia” le representa a los caficultores ahorros anuales superiores a los veintemil millones de pesos representados en su mayor producción en comparación con las variedades susceptibles y la eliminación de los costos del control químico de la roya que son equivalentes a $80.000 por hectárea y por año”.

Gabriel Cadena. Director de CENICAFÉ. *Desarrollo tecnológico en el sector cafetero colombiano*.

5.3 Comparación de características entre investigación y desarrollo tecnológico

Para completar la discusión de esta sección es oportuno que el lector tenga elementos de comparación entre las actividades de investigación y de desarrollo tecnológico, pues de las diferentes características y peculiaridades de cada una deben surgir formas de tratamiento y de gestión adecuadas a cada caso. En la tabla 5.1. se recogen dichas características.

Tabla 5.1. Comparación entre lo científico y lo tecnológico

Características	Investigación científica	Desarrollo tecnológico
Motivación	Intelectual: curiosidad general acerca de los fenómenos naturales.	Económico o social: deseo de resolver problemas específicos.
Actitud hacia la información	Opera sobre la base de una amplia divulgación de ideas e información para permitir su validación. La “literatura científica abierta” es un medio clave de divulgación.	Con frecuencia opera sobre el concepto de ideas como conocimiento apropiable. Tenderá a usar los instrumentos de propiedad intelectual como vehículos para revelación.
Ubicación usual de la actividad	Universidades y laboratorios gubernamentales; unos pocos laboratorios industriales grandes.	Principalmente en laboratorios industriales en el sector privado. (Se experimentan dificultades cuando los vínculos con el usuario son débiles).
Participantes	Una elevada proporción habrá tenido un entrenamiento a nivel doctoral en una disciplina específica.	Mayor énfasis en la experiencia práctica fuera del entrenamiento.
Estructura de grupos	Tradicionalmente, en muchas disciplinas, ésta es competencia del investigador individual; pero este modelo está desapareciendo rápidamente debido a factores relacionados al costo creciente de las instalaciones y el creciente potencial para las redes (electrónicas).	Es más probable que contenga una mezcla interdisciplinaria de científicos e ingenieros; en algunos casos, incluso también puede haber economistas u otros científicos sociales.
Fuente: Informe Mullin, 1996. Presentado al DNP.		

5.4 Una medida de la producción científica

Interesa para los propósitos de la presente publicación que el lector se forme una idea al menos del perfil de producción científica latinoamericana por medio de las publicaciones realizadas, sin distinguir incluso a que tipo de actividad específica se refieren y dentro de este panorama situar la producción colombiana. El resultado de dicho ejercicio no es ciertamente muy gratificante, pues los números son bastante discretos. La tabla 5.2 constituye una muestra sobre nuestra situación:

Tabla 5.2. Producción científica

Publicaciones de América Latina 1991-1995	
País	**Publicaciones totales**
ARGENTINA	11.085
BOLIVIA	229
BRASIL	21.397
CHILE	5.998
COLOMBIA	1.133
COSTA RICA	566
CUBA	946
ECUADOR	269
GUATEMALA	296
HONDURAS	65
MÉXICO	10.342
NICARAGUA	63
PANAMÁ	326
PARAGUAY	56
PERÚ	685
REP. DOMINICANA	92
SALVADOR, EL	14
URUGUAY	627
VENEZUELA	2.893
Sumatorio Publicaciones	57.082
Documentos reales	**55.122**
Fuente: Centro de Documentación CSIC. España.	

DISCUSIÓN SOBRE EL PROCESO MISMO DE I&D
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 5

1. ¿Qué hace que se califique como lineal al modelo clásico de Investigación y Desarrollo?

2. La Investigación y Desarrollo denominada de “ciclo completo” trae ventajas evidentes. Mencione dos de ellas.

3. La planificación y ejecución de la I&D en el caso de la “Variedad Colombia” de café trajo evidentes ventajas económicas y sociales. Menciónelas.

CLAVE DE RESPUESTAS
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 5

1. Su idea de secuencia cronológica de actividades de investigación, primero la básica, luego la aplicada y finalmente el desarrollo experimental.

2. Permite integrar todas las actividades de la Investigación y Desarrollo en un resultado o producto apetecido y definido por la sociedad como prioritario. Fortalece las capacidades integrales de hacer I&D en los grupos y de entender y eslabonar todas las fases, creando destrezas u conocimientos más completos que quien se queda sólo en una actividad.

3. Fue adoptada por más de 300.000 cultivadores con los consiguientes efectos económicos debido a aumentos en la productividad cafetera.

6. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

La tecnología como la ciencia pueden considerarse, para los fines de nuestro análisis, como los cuerpos de conocimiento que el hombre ha ido produciendo mediante el esfuerzo de la investigación. La tecnología necesita de la ciencia y ésta de la primera; ambas producen conocimientos o aplicaciones de mutuo beneficio para su existencia y progreso.

Sin embargo, conviene afirmar con múltiples investigaciones del desarrollo tecnológico, que la tecnología no llega a tener un valor práctico hasta que no se convierte en una «innovación tecnológica». Se entiende por innovación tecnológica el proceso mediante el cual una invención o idea se introduce en la economía. Una definición un poco más amplia sería la introducción por primera vez de nuevos productos, procesos o maneras de hacer las cosas. Esto quiere decir que la innovación no sólo se refiere a la tecnología y su enlace con la economía, sino que se aplica a muchas áreas del esfuerzo humano, como la agricultura, la industria, la medicina y a una variedad de actividades intelectuales de carácter social, económico, político y militar.

En el uso de la innovación tecnológica en el contexto de la economía, la innovación conlleva una inversión, con efectos mensurables sobre la economía, es decir, el establecimiento de una empresa industrial que aproveche comercialmente la invención.

No es suficiente la investigación en el laboratorio, olvidándose que el desarrollo costará diez o veinte veces más. La causa de que muchos resultados no salgan de los laboratorios, pese a diversos apoyos y subsidios, y de que se hagan críticas a las instituciones de investigación por imprácticas, puede deberse a la naturaleza costosa de todo el proceso de I+D e innovación. Explica también que en países como Colombia la industria prefiera volcarse al exterior a buscar los desarrollos tecnológicos «llave en mano», evitándose los riesgos e incertidumbres de la etapa de desarrollo. Una opción radica en la realización de esfuerzos adaptativos a las condiciones propias.

Las más exitosas economías occidentales (ejemplo: Alemania, Japón, USA), no sólo tienen una fuerte base de investigación científica y tecnológica, sino que son capaces de convertir sus capacidades de investigación en bienes y servicios comercializables internacionales. Una manera simple de representar esto sería por medio de una pirámide de actividades con una cantidad de ciencia en su ápice, seguido de cantidades progresivamente más grandes de tecnología, ingeniería y producción.

6.1 Definición de conceptos

Por ser fuente de ambigüedad, queremos ubicar un poco mejor la noción de innovación tecnológica, ciñéndonos a algunas definiciones internacionales

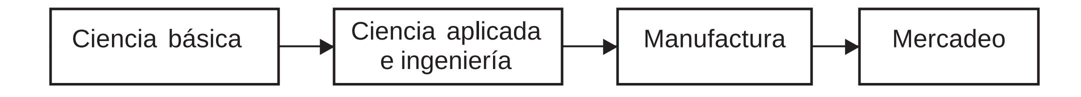
que de una u otra manera deberemos adaptar a las condiciones de países en desarrollo como Colombia, comprendidas en los manuales de Frascati y el más reciente de Oslo:

La *innovación tecnológica* comprende nuevos productos y procesos y cambios tecnológicos significativos de productos y procesos. Una innovación ha sido implementada si ha sido introducida al mercado (innovación de producto) o usada dentro de un proceso de producción(innovación de proceso). Las innovaciones de este modo comprenden una *serie de actividades científicas y tecnológicas, organizacionales, financieras y comerciales.* La I&D es solamente una de esas actividades y puede llevarse a cabo en diferentes fases del proceso de innovación, actuando no exclusivamente como la fuente original de las ideas inventivas sino como una forma de solución de problemas que puede ser requerida en algún punto del proceso y hasta su implementación.

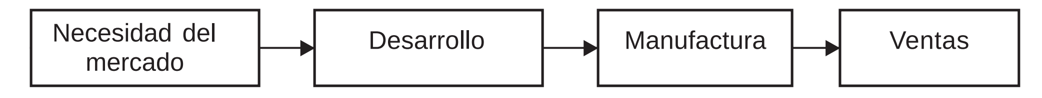
En las Figuras 6.1 y 6.2 aportadas por Rothwell se pueden repasar el modelo lineal(push), en que todo procede de la I&D; el modelo de mercado (pull) y uno mixto, interactivo, en el que la I&D acompaña el proceso pero no es el origen del mismo.

Figura 6.1 Dos modelos del proceso de innovación

a) **Modelo lineal**: La ciencia descubre, la tecnología produce, la firma mercadea.



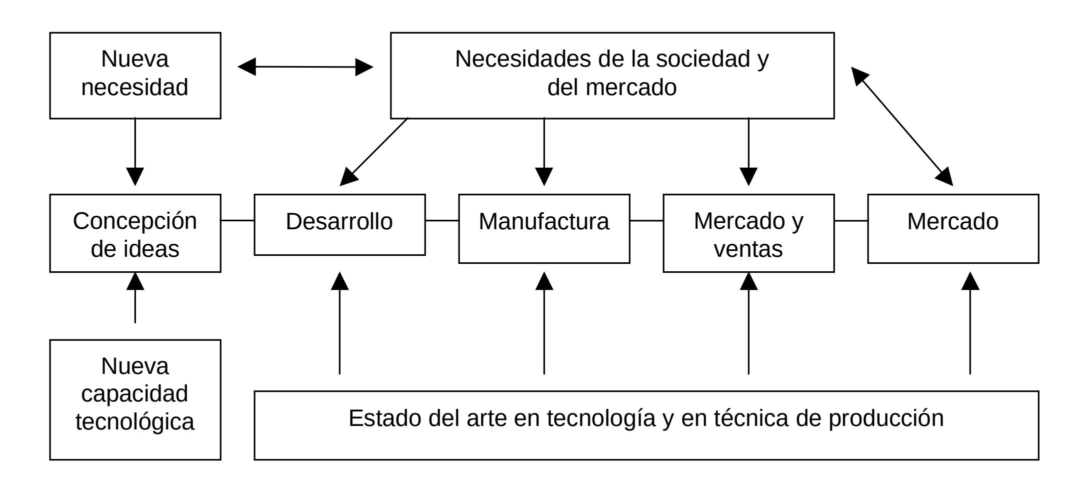
b) **Modelo de mercado:** La necesidad “jalona”, la tecnología hace, la firma mercadea.



Fuente: Rothwell, 1983.

El mismo autor nos presenta una nueva síntesis mediante la introducción de un proceso interactivo entre las necesidades de la sociedad y del mercado, por un lado, y las capacidades tecnológica nuevas, incluyendo la capacidad de I & D y el estado del arte en la tecnología y en las técnicas de producción, todo ello a lo largo del proceso que va desde la idea inicial hasta el mercado. Veámoslo de una manera gráfica mediante la figura 6.2.

Figura 6.2. Modelo interactivo del proceso de innovación



Fuente: Rothwell, 1.983

La *innovación de producto*

La comercialización de un producto que ha sido cambiado tecnológicamente se refiere a la innovación de producto. El cambio tecnológico ocurre cuando las características de diseño de un producto cambian en forma tal que permiten entregar servicios o prestaciones nuevas o mejoradas a los consumidores de un producto.

Una *innovación mayor* de producto se da cuando su uso esperado, sus características de desempeño, sus atributos y sus propiedades de diseño de materiales y componentes difiere significativamente de los productos manufacturados previamente. Tal innovación puede comprender de manera radical nuevas tecnologías, o puede basarse en la combinación de las tecnologías existentes para nuevos usos. Ejemplos de ello podrían ser el transistor, el circuito impreso, la píldora anticonceptiva, los antibióticos, el PC, la TV. etc.,

La innovación *incremental* de producto es un producto cuyo desempeño ha sido cambiado o mejorado significativamente.

La *innovación de proceso*

Ocurre cuando hay un cambio significativo de la tecnología de producción de un determinado item. Este cambio puede comprender nuevo equipo, nuevos métodos de organización y gestión o ambos. Es la adaptación de métodos de producción nuevos significativamente mejorados. Estos métodos pueden comprender cambios en equipo u organización de la producción o ambos. Los métodos pueden estar destinados a producir productos nuevos o

mejorados, que no pueden producirse usando las plantas y los métodos de producción convencionales, o esencialmente para incrementar la eficiencia productiva de los productos existentes.

La *diferenciación de producto*

Se trata de modificaciones menores de productos y procesos, o de modificaciones técnicas menores y de contenido estético de los productos.

En el recuadro 6.1. se presentan ejemplos de empresas innovadoras colombianas ganadoras del premio nacional a la innovación.

Recuadro 6.1. Casos de innovación en Colombia

Coservicios: Desarrollo de ascensores cuyo diseño electrónico no solo se encuentra en el “filo” de la tecnología mundial, sino que permiten de manera práctica ahorro de energía a los usuarios, rapidez en su respuesta, comodidad y adaptación funcional al tipo de edificios de esos usuarios.

Incolbestos: Desarrollo de pastillas para frenos que tuvieron en cuenta las características del frenado para la concepción y mejora de los materiales utilizados, de tal forma que en un país montañoso como Colombia, su comportamiento fuese el óptimo en eficacia, duración y seguridad.

Superbrix: Utilización de los desechos de la cosecha del arroz, como la cascarilla, como un combustible mucho más económico utilizado por los productores para los procesos de secado del grano, mediante un horno quemador fabricado observando las características de humedad y temperatura y otras condiciones de las fincas de dichos productores.

Dies: Diseño y fabricación de equipos de laboratorio relativamente fáciles de manejar y usar según las exigencias del medio, más resistentes que los importados por la competencia, y en general con especificaciones funcionales para los usos previstos en cada caso, según los clientes, además de servicios de mantenimiento.

Ripoll: Uso de la madera en la construcción de viviendas, locales, iglesias, etc. optimizando sus propiedades arquitectónicas y satisfaciendo necesidades estéticas de los clientes, mediante entregas oportunas y calidad en los acabados, de una manera industrial, concebida por etapas claramente definidas.

Penagos: Producción masiva de una despulpadora de café basada en un diseño de tipo cónico, inspirada especialmente en la necesidad de reducir significativamente el consumo de agua en las fincas cafeteras, evitando la contaminación de las quebradas y permitiendo el uso de los subproductos en otras actividades de la finca como la producción de abonos mediante la lombricultura.

(Continúa...)

(Continuación)

Tratar: Servicio de tratamientos técnicos con calidades exigentes de acuerdo con el análisis riguroso de los materiales y necesidades aportadas por el cliente, según técnicas de aplicación de clase mundial, pero adaptadas a las condiciones colombianas, fruto del seguimiento cuidadoso de las "hojas de vida" de los múltiples tratamientos suministrados.

Icollantas: Incorporación de tecnologías de fabricación y materiales especiales en la coraza de las llantas para mejorar su respuesta, comportamiento, resistencia y duración con respecto a su uso en las carreteras y vías colombianas, caracterizadas frecuentemente por sus condiciones irregulares, de manera especial en las llantas comunes y de uso más amplio en el transporte.

Agil Bordados: Rescate de tradiciones artesanales caracterizadas por la preciosidad de los diseños y la delicadeza de sus acabados y organización de la manufactura y exportación a varios países industrializados, donde a través de sus boutiques y los gustos exigentes de la moda, promueve la utilización de dichos bordados como un complemento a los trajes femeninos, habiendo irrigado el empleo productivo de Cartago.

Fuente: Jaramillo, Luis Javier: La otra cara empresarial de Colombia.

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 6

1. Mencione tres características propias y distintas de la innovación y que la hacen diferente de la invención, por ejemplo.

2. Describa en palabras muy breves la esencia del modelo lineal de innovación.

3. Hay dos grandes tipos de innovación según el Manual de Oslo. Cítelos.

4. Dé un ejemplo de un caso de innovación tecnológica en una empresa colombiana.

CLAVE DE RESPUESTAS
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 6

1. La innovación tecnológica es el invento puesto en un mercado, fuera del laboratorio, tiene consecuencias económicas en la sociedad.

2. Secuencia ciencia básica – ciencia aplicada – manifactira – mercadeo.

3. Hay innovación de producto e innovación de proceso.

4. Pastillas para frenos libres de asbesto desarrolladas y comercializadas por la empresa Incolbestos.

7. EL IMPACTO SOCIO–ECONÓMICO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

7.1 La aplicación de CyT al mejoramiento de la sociedad: raíces de la Utopía

El oficio de los científicos está presente en la construcción de utopías sociales que están en la raíz de nuestro mundo actual. En efecto, Francis Bacon, ante la cosecha científica del siglo XVII, predijo el advenimiento de una Utopía científica, en la cual la ciencia y la tecnología harían posible para todos el saber y la abundancia. Pero a principios del siglo XX el vapor y la electricidad habían determinado ya transformaciones revolucionarias, y el público había descubierto una amarga verdad: que los frutos de la ciencia no son necesariamente dulces. Este es un tema álgido y actual de discusión que presentaremos en una próxima sección sobre ciencia, tecnología y sociedad, en la que mostraremos la justificación de las dudas existentes sobre el llamado triunfalismo científico.

Las maravillas científicas dibujadas para el libro “la nueva Atlántida”, publicado en 1627, en el estilo del siglo XVII, fueron descritas por Bacon como la base de su Utopía. El telescopio y el microscopio estaban ya en uso, pero las otras artes de esta Utopía, como el teléfono, eran solo adivinación profética. Incluso predijo el rayo láser, inventado en 1960. En el mapa de la nueva Atlántida, Bacon ubicó los “inventos” que aparecen en el recuadro 7.1.

Recuadro 7.1: *Las maravillas científicas de la nueva atlántida*

Hogueras ardiendo en el agua, máquinas para estudiar el movimiento, posibilidad de volar, instrumentos para ver a distancia, luz intensificada y dirigida, cristales para observación de objetos pequeños, establecimientos para estudio de luz y color, estanques para librar el agua de su sal, jardines de crecimiento acelerado, cría de animales de tamaño superior e inferior al normal, frutos de gran tamaño, aparatos para recepción de sonido, institutos para estudio del sonido, sonidos transmitidos a distancia, cuevas para refrigeración, buques de navegación submarina.

En la Nueva Atlántida se hace la primera descripción de una academia científica moderna, en el centro de una sociedad ideal ubicada en una isla del Atlántico Sur. Contenía minas, fábricas, granjas, huertas y otros lugares para el experimento en la mejoría de las cosas y la naturaleza. Proporcionaba espacios menores para fenómenos ópticos, acústicos, meteorológicos y astronómicos. La Casa era el hogar de 36 filósofos elegantes y con elevados estándares de vida, que hacían observaciones, diseñaban y realizaban experimentos, y derivaban principios generales, o luz, de los resultados de su labor.

7.2 Tecnología y desarrollo

El proceso de desarrollo se caracteriza por el cambio de las estructuras sociales y la movilidad hacia arriba de los individuos. Se logra por medio de mejoras tales como la adquisición de mayores capacidades de la gente, de las instituciones y de los procesos de producción de un país. Se caracteriza también por el logro de la justicia distributiva que permite compartir los frutos del progreso y las mejoras en la calidad de vida. También coadyuva a que una nación participe de manera más independiente en las actividades de la comunidad internacional y alcance una mejor ubicación en la división internacional del trabajo.

Según Nawaz Sahrif, quien fuera Director del Centro Asiático y del Pacífico para la Transferencia de Tecnología, los impactos de la tecnología se han sentido en la sociedad desde los albores de la historia. El desarrollo y aplicación de la tecnología de irrigación en Mesopotamia, por ejemplo, dio lugar a que naciera la primera economía agrícola basada en la acumulación de excedentes agrícolas. Así se fueron sentando progresivamente las bases de varias civilizaciones caracterizadas por la especialización, la división del trabajo, el desarrollo del comercio, la definición de principios de gobierno y el reconocimiento del individuo.

El paso de los artesanos a las disciplinas tecnológicas y a la máquina durante el período 1750-1850, marcó la iniciación de la primera revolución industrial con múltiples implicaciones para el desarrollo social. Europa Occidental fue el escenario de esta primera transformación social basada en el desarrollo tecnológico. Entre tanto, las sociedades que hoy constituyen el tercer mundo, se limitaban a ser proveedores de materias primas, en un orden preindustrial.

A través de la sofisticación sistemática de las actividades económicas inventadas por el hombre, el mundo natural en que nuestros ancestros cimentaron su vida primitiva, ha sido transformado por el «uso humano de la tierra». Este proceso se viene acelerando notablemente por la creciente aplicación de la tecnología, que a su vez abre nuevas fronteras, en virtud de los nuevos descubrimientos científicos. En la tabla 7.1 podemos apreciar una serie de dimensiones de la naturaleza, del individuo y de la sociedad que han sufrido una notable evolución en virtud especialmente del cambio tecnológico.

Tabla 7.1. Algunos cambios originados en el desarrollo tecnológico

EVOLUCIÓN DESDE EL SIGLO XII HASTA EL SIGLO XXI			
	Siglo XII	**Siglos XVIII y XIX**	**Hoy hacia el siglo XXI**
Materiales Recursos	Hierro Molino de agua	Acero y hormigón Motor a combustión o explosión.	Hiperoferta Manejo de la energía
Vida	Selección de especies	Microbiología	Ingeniería genética
Tiempo	Hora (campana)	Segundo (cronómetro)	Picosegundo (electrónica)
Organización	Servidumbre	taylorismo	"management" participativo y cualitativo
El trabajo	Trabajos reproductivos	Trabajos reproductivos	Progresos constantes
El hombre	Mano de obra	Mano de obra	Creación
La sociedad	Sociedad de (re) producción	Sociedad de (re) producción	Sociedad de creación
Fuentes de poder	La tierra	Las finanzas	Lo inmaterial

Fuente: A.Y. Portnoff y T. Gaudin. *La revolución de la inteligencia*: Informe sobre el Estado de la Técnica. INTI, Buenos Aires, 1988; T. Gaudin. *Les Metamorphoses du Futur* y *Essai de propestive technologique*, CPE, 1988.

La naturaleza de una sociedad está determinada por la clase de actividad tecnológica predominante. Puede anticiparse, en este sentido, que las sociedades del futuro se basarán en actividades económicas de mayor contenido tecnológico.

A lo largo de la historia, la tecnología ha traído con su aplicación, cambios en el ambiente natural y le ha ayudado al hombre a hacer de dicho ambiente un escenario propicio para la vida colectiva y productiva. Sin embargo, la tecnología puede también causar la degradación irreversible de los recursos naturales a menos que se identifiquen argumentos a favor de la naturaleza.

La moderna tecnología industrial ha impactado en la satisfacción de las necesidades básicas del hombre, en virtud de la conservación de alimentos, las prácticas agrícolas, la provisión a agua potable, la construcción de grandes complejos habitacionales, el vestuario basado en nuevas fibras, la erradicación de enfermedades endémicas, el alargamiento de la vida gracias a los antibióticos, las comunicaciones al instante vía satélite, la mayor movilidad creada por el transporte, la explotación de nuevas formas y fuentes de energía, etc.

Sin embargo, los efectos de la tecnología en los ecosistemas han venido creando preocupaciones profundas, al punto de que se han emprendido dis-

cusiones de carácter global para evitar la degradación de la biosfera y del ambiente natural. En parte, la evaluación tecnológica se lleva a cabo para reducir los impactos previsibles de la tecnología. Estos son elementos de orden crítico que veremos en la sección dedicada al control público de la ciencia y de la tecnología.

Desde el ángulo de la medición de la relación entre tecnología y crecimiento económico, se efectuaron los primeros estudios en los años 50. Los trabajos de Solow, Denison, Mansfield y otros, demostraron que “el avance del conocimiento” fue responsable, en los Estados Unidos, de cerca del 40% del aumento total del ingreso por persona entre 1929 y 1957. Es el llamado por estos economistas “factor residual” para explicar el crecimiento económico más allá del papel que desempeñan los factores clásicos de producción como el capital, la tierra y el trabajo.

Los estudios de la década de los 60 fueron más lejos indicando que existía un efecto estadístico significativo de la magnitud de la inversión en I&D sobre el aumento de la tasa de productividad y que el retorno marginal de I&D era elevado. Estudios econométricos más recientes de Griliches sobre grupos significativos de empresas han mostrado que esta tasa supera el 30% en forma directa y tiene un valor de aproximadamente 20% promedio desde el punto de vista privado. Aunque los resultados obtenidos presentan restricciones debidas a la cobertura y la exactitud, las tendencias generales muestran claramente la rentabilidad asociada a la inversión en tecnología y su efecto sobre el desarrollo de los países.

7.3 La génesis de la tecnología

La capacidad del hombre para utilizar intencionalmente su cuerpo lo distingue de las demás criaturas y lo faculta exclusivamente a él para asimilar, sintetizar y utilizar el conocimiento. La tecnología emanó del conocimiento acumulado por el *homo sapiens* a partir del ensayo y el error y de las adaptaciones derivadas de su aguda observación del ambiente.

El hombre llegó a ser humano cuando comenzó a usar su cerebro para crearse opciones adicionales a las brindadas por la sola naturaleza. El deseo de hacer la vida más fácil y de resolver las necesidades de la supervivencia fue la fuerza que propulsó el uso del conocimiento para desarrollar tecnología. *La aplicación del conocimiento generado y acumulado en la solución de problemas prácticos no es otra cosa que la tecnología*. Así las cosas, la tecnología, definida de una manera muy simple, es *lo que la gente hace con lo que ella sabe.* Desde los tiempos más remotos, el conocimiento se aplicaba aunque el “know – why” no fuese claramente comprendido.

El rango y la calidad de la tecnología que la gente posee han sido el instrumento principal para el desarrollo. La tasa de desarrollo ha sido proporcional a los cambios tecnológicos que han ocurrido en el tiempo.

La tecnología es un medio para afrontar las necesidades; es un “ejercicio de supervivencia”, como la llamó Akio Morita, fundador de la empresa SONY, quien ilustra dicha afirmación con la historia del soldado japonés que se había ocultado cuando las fuerzas norteamericanas retomaron Guam, en 1.944, y había eludido la detección y la captura durante veintiocho años.

Para hacerse la vestimenta, el ex –cabo Yokoi– ese era su nombre - había quitado la flexible corteza de los árboles *pago,* la transformó en hilo que tejió en un telar improvisado, convirtiéndola en tela que después cortó con las tijeras de sastre que había conservado, y cosió pantalones, camisas y chaquetas. Hizo agujas golpeando y dando forma a trozos de cartuchos de latón. Halló una caja de municiones norteamericanas y algunos cartuchos servidos de ametralladoras y los usó como recipientes. Yokoi también aprendió a encender el fuego frotando palitos entre sí y mantuvo el fuego prendido tejiendo una soga de fibra de coco: una vez encendida, la soga ardía durante días y, cuando se soplaba la soga, se podía prender fuego para cocinar.

Concluye Morita, reafirmando la tesis de que*: “la tecnología se puede relacionar, de manera directa, con la supervivencia en su nivel más elemental. La tecnología no solo se refiere a las maravillas que hoy nos hacen la vida tan confortable”.*

7.4 La transformación del mundo

Por medio de la sofisticación sistemática de las actividades económicas inventadas por el hombre, se transformó aquel mundo natural que sirvió de escenario a sus primitivos ancestros. El mundo natural ha venido dando lugar al mundo creado por el hombre. Este proceso se viene acelerando cada vez más debido a la aplicación creciente de la tecnología que alcanza nuevas fronteras propulsada por los nuevos descubrimientos científicos.

El cambio del mundo natural al mundo fabricado por el hombre: El cambio gradual de los procesos puede plantearse a lo largo de cinco fases. En cada fase se presenta una actividad económica dominante y de mayor contenido tecnológico, a saber:

- Cacería y recolección
- Rotación y cultivo
- Agricultura y minería
- Manufactura y procesamiento
- Síntesis y reciclaje

En la *Sociedad Primitiva* la mayor preocupación fue la explotación de recursos disponibles a conveniencia y de manera natural, careciéndose de

ideas sobre como estabilizar el acceso a dichos recursos y menos sobre la necesidad de reutilizarlos. Las presiones ecológicas más tarde obligaron a las sociedades humanas a innovar y adoptar prácticas agrícolas que proporcionaron estabilidad a la producción de alimentos. El mejor ejemplo de ello fue la tecnología de irrigación que a última instancia señaló la génesis de sociedades organizadas en las planicies de China, India, Mesopotamia y Egipto.

El descubrimiento de recursos minerales y de energía combustible fósil incentivó a las sociedades humanas a acometer la manufactura y el procesamiento de materias primas, actividades que anunciaron el advenimiento de la primera revolución industrial. La conciencia sobre los límites a la explotación natural es reciente y viene llevando a la especie humana a depender de la síntesis y del reciclaje en esta fase de su evolución. La futura sociedad preservará y contendrá elementos de etapas previas de su desarrollo, pero estará cada vez más concernida con las actividades de síntesis y reciclaje.

Podría decirse que las sociedades humanas estarán en el futuro más dedicadas a aquellas actividades económicas que incorporan mayor contenido tecnológico. Sin embargo, todo ello tiene una contraparte en la destrucción y degradación de los recursos naturales a menos que las tecnologías sean más acordes con su preservación. Baste decir que el hombre ha alterado los sistemas ecológicos desde los comienzos de la historia. A medida que la población crecía, el hombre se las arreglaba para cosechar tantos alimentos como fuese posible, con el incremento del uso de la energía y de los nutrientes del suelo. Por medio del cultivo de los deltas se intentó aumentar la productividad. Al tiempo se buscó casi siempre minimizar la destrucción del proceso natural para asegurar cosechas estables por períodos razonables de tiempo.

No obstante, los ecosistemas llegaron en ocasiones a sus límites:

- Con el florecimiento de la tecnología de irrigación en los deltas de Mesopotamia, la salinidad causó pérdidas que llevaron a la escasez periódica de alimentos.
- La civilización del Valle indostánico sufrió debido al sobrepastoreo que llevó a la formación de desiertos.
- Con la expansión de la rotación de cultivos a través de las montañas del Africa y del Asia, los bosques, los pastos y los animales se degradaron hasta el punto de su extinción. Las migraciones resultantes han sido bien documentadas en la historia.

7.5 La transformación de los sistemas de producción agrícola

En los modernos agro-ecosistemas el hombre ha sido capaz de maximizar la productividad neta por medio de la aplicación de la triple tecnología “semilla –fertilizante– riego”, acoplada con la mecanización selectiva. Los cultivos se

pueden escoger buscando que usen la energía solar de manera óptima, esto es, con muy bajos requerimientos de mantenimiento y respiración. La energía de mantenimiento es aquella requerida por las plantas para interactuar exitosamente con los depredadores potenciales, con los competidores y polinizadores. Sin embargo, existe hoy la necesidad de proveer energía de manera artificial bajo la forma de pesticidas, herbicidas y fertilizantes para proteger los cultivos. Un ejemplo de todo lo anterior ha sido la llamada Revolución verde.

La Revolución Verde

El cambio tecnológico en la agricultura tropical y subtropical ha sido un desarrollo significativo que ha transformado los métodos arcaicos de la producción agrícola en los países en desarrollo. Ha permitido que ciertos países sean autosuficientes y ha creado la posibilidad de superar las crisis alimentarias. No obstante, se ha notado que las cosechas no pueden aumentar a menos que se trabaje en nuevas manipulaciones genéticas y si no se emprenden procesos de diversificación de cultivos.

Un problema tecnológico muy serio que ha creado la revolución verde es el remplazo de comunidades biológicas complejas que interactúan y se refuerzan recíprocamente, por el monocultivo, sustituyendo así un ecosistema estable por sistemas super – simplificados y altamente vulnerables a las plagas, malezas, enfermedades y causantes de la erosión del suelo.

Los peligros de la erosión genética permanente son manifiestos en la tecnología del monocultivo descrita en el párrafo anterior. También la erosión genética reduce la fertilidad de los suelos y sedimenta los depósitos de agua y los sistemas de irrigación. Los fertilizantes y los pesticidas aceleran la contaminación de las aguas y amenazan la población piscícola y la humana.

Pero muchos de estos problemas han llevado a los científicos a encontrar nuevas tecnologías de control: prácticas modernas de control de agua, construcción de terrazas, métodos de labranza, etc., han llevado a reducir la salinización y la erosión. El uso del control de plagas ha reducido el uso de pesticidas. El manejo integrado de plagas ha permitido controlar los insectos del algodón, por ejemplo, con uso reducido de pesticidas químicos. La desertificación puede detenerse hoy en día mediante tecnologías mejor adaptadas al ambiente árido.

7.6 La transformación del sector industrial y de otros sectores

Las consecuencias del desarrollo industrial a través de la aplicación de la tecnología han sido evidentes en términos de la satisfacción de algunas necesidades básicas de la humanidad, pero al tiempo le han creado nuevas y difíciles situaciones. Con el ánimo de mantener la necesaria continuidad en la discusión, podemos pasar revista a los impactos de la moderna tecnología industrial en algunas necesidades básicas.

Recuadro 7.2. Impacto de la tecnología en las necesidades básicas.

Necesidades	Impactos
Alimentación	Preservación de alimentos altamente perecederos. Prácticas agrícolas que incrementan la productividad por hectárea.
Aire	Mantenimiento de aire bajo temperatura, humedad y pureza controladas en espacios cerrados (hogar, oficina, automóvil, etc.). La aplicación de la tecnología contamina el aire de manera alarmante (industria, transporte, etc.) con amenaza a los ciclos naturales.
Agua	Satisfacción de necesidades de agua en áreas urbanas densamente pobladas. Aguas subterráneas y marinas se pueden hacer potables. Grandes cantidades de agua consumida y usada en hogares e industrias son vertidas a los ríos, haciéndolos inadecuados para la vida acuática o aún como fuente de agua para consumo humano. Las grandes ciudades afrontan problemas bombean en exceso agua del subsuelo. Los sistemas de desagües son sobrecargados.
Habitación	Los avances tecnológicos han resultado en la construcción de grandes condominios y mejor utilización del suelo. Pero hay temor de que se rompan las estructuras sociales y se incremente el delito por un estilo de vida “antisocial”.
Seguridad y defensa	Es enorme el desarrollo de la tecnología militar en los últimos decenios. La sociedad se ha beneficiado a menudo por el desarrollo de tecnologías civiles derivadas como subproductos. La acumulación de medios bélicos ha creado el temor de la destrucción total con armas nucleares.
Vestimenta	Las mejoras en la habitación han hecho disminuir la importancia de la ropa como abrigo. A pesar de todo, muchos nuevos materiales se han desarrollado.
Salud	Las drogas terapéuticas, la instrumentación quirúrgica y el “know – how” médico avanzado, han ayudado a la humanidad a combatir la malaria, las viruelas, la fiebre

(Continúa...)

(Continuación)

	amarilla, el cólera, etc. y han aumentado las expectativas de vida. La tecnología médica también alivia los problemas de los discapacitados (sordos, ciegos, amputados, etc.) La tecnología médica ha propiciado la explosión de población. Indirectamente, la tecnología ha causado muchas enfermedades ocupacionales, alcoholismo y adicción a las drogas.
Comunicaciones	Las modernas redes de telecomunicación y satelitales han mejorado la interacción entre las gentes para bien (en situaciones de emergencia, mejor cooperación) y para mal (chantaje y propósitos destructivos). La televisión entretiene pero induce pasividad e influencias negativas y muchas veces no se la usa para fines educativos.
Transporte	El rápido desarrollo tecnológico en toda clase de transporte (aire, carretera, férreo, acuático) ha aumentado la movilidad de la gente, pero esto también se asocia con contaminación, ruido, congestión y accidentes.
Energía	Muchas formas de energía se han desarrollado a partir de diferentes fuentes – desde leña, carbón, petróleo y gas, hasta nuclear, geotérmica, mareas, vientos y solar. Sin embargo, el acelerado consumo de energía mediante varias tecnologías está llevando al agotamiento de los recursos no renovables de energía en el futuro previsible. En los países avanzados, la gente teme posibles desastres originados en accidentes de las plantas nucleares.

EL IMPACTO SOCIO- ECONÓMICO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 7

1. ¿Qué es y en qué consiste el libro “La Nueva Atlántida”?

2. La tecnología ha contribuido a resolver las necesidades básicas de la sociedad humana, pero a menudo es fuente de problemas por sus incontrolados impactos. ¿En qué tipo de esfera se producen tales impactos negativos?

3. Dos situaciones de profundo cambio histórico pueden servirnos de ejemplos sobre la forma en que la tecnología impacta las condiciones socioeconómicas y la vida de los seres humanos. Menciónelas usando sus propias palabras.

4. Cite 4 necesidades básicas del ser humano que la tecnología ha contribuido a solucionar.

CLAVE DE RESPUESTAS – AUTOEVALUACIÓN Nº 4

1. Es una utopía del siglo XVII en la que prácticamente se describe una academia o comunidad científica que vive en excelentes condiciones creando el conocimiento para beneficio de la sociedad.

2. En los escosistemas.

3. ______________________________

4. ______________________________

8. LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

8.1 Hacia la industria «cerebro-intensiva»

Las actividades científicas van de la mano con la evolución de las sociedades, que fijan límites o facilitan tanto el proceso de creación de conocimiento científico y tecnológico como su uso económico. Siguiendo este hilo conductor, como vimos en la sección anterior, la producción de tecnología y la industria, inicialmente poco intensivas en ciencia, cambian de signo y hoy en día son más «cerebro-intensiva», introduciendo profundas y radicales transformaciones en la manipulación de materia y de la vida.

La ciencia y la tecnología transforman de modo excepcional el aparato productivo, incentivado éste a su vez por la dinámica de los mercados globales. En estas condiciones, cada vez más, ciencia y tecnología son objeto de políticas y de estrategias concertadas entre estados y empresas, buscando su mayor aprovechamiento.

Una forma de profundización inusitada del impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad y en la economía se viene dando en nuestros días. Es necesario comprender su ingrediente fundamental: adopción de innovaciones tecnológicas radicales que cambian la fisonomía del aparato productivo, particularmente hijas de la microelectrónica.

Estamos asistiendo a otra «revolución industrial» comparada por lo menos con la fase previa de varias innovaciones tecnológicas que caracterizó el período de postguerra y comparable para algunos con la que se inició en Inglaterra, como opina Alvin Toffler, con el concepto de una «tercera ola», cuyos signos más evidentes son:

- Nacimiento de industrias de alta tecnología.
- Nuevos procesos de producción basados en la microelectrónica que «rejuvenecen» la fabricación de automóviles, textiles e inclusive acero.
- Fusión de la computación y las telecomunicaciones, creando nuevas infraestructuras comparables a la evolución del sistema de superautopistas o a la de las líneas de navegación a vapor.

8.2 Las nuevas tecnologías

Para ilustrar mejor el núcleo de tecnologías avanzadas que pueden constituir la nueva industrialización y la gran transformación productiva de fin de siglo, daremos un vistazo a las tecnologías de información, a la biotecnología y a los nuevos materiales.

8.2.1 *Tecnologías de información*

Según Pablo Bastos T., el desarrollo de los microprocesadores en la década del setenta simboliza un efectivo cambio en el paradigma técnico – económico que rige la industria moderna. El patrón de crecimiento anterior basado en la tecnología electromecánica fue radicalmente alterado por la “revolución en miniatura” provocada por la difusión de los nuevos dispositivos microelectrónicos. A diferencia de la base técnica anterior, la microelectrónica no hace uso intensivo de energía y materia prima, pero sí de información y conocimiento técnico. Este proceso ha producido importantes impactos sociales y económicos cuya dimensión aún no es suficientemente conocida. Se destacan, sin embargo varios desarrollos relativamente recientes:

Fernando Chaparro, el Director de Colciencias, señala como uno de los temas de la Agenda para la Colombia del siglo XXI: “Las tecnologías de información y telecomunicaciones están teniendo un profundo impacto en todos los sectores de la actividad humana, desde la producción, hasta la educación y los servicios de salud. La convergencia de tres áreas tecnológicas anteriormente diferenciadas, que son la informática (computadoras), las telecomunicaciones y la transferencia y procesamiento de datos e imágenes, ha llevado a profundos cambios en la producción de bienes y servicios en las sociedades contemporáneas”. “Emergen con base en ello las llamadas sociedades de la información y la terciarización de la economía. Uno de los problemas de las sociedades de la información es como convertir *información* en *conocimiento* útil y como aprovechar los procesos de generación y apropiación del conocimiento para *inducir procesos dinámicos de aprendizaje social.”*

A fines de los años setenta se pronosticaba en la revista de Ciencias de la Información de Estados Unidos, que el gran paso no resuelto todavía en información era el matrimonio entre las computadoras y las telecomunicaciones. El matrimonio, veinte años más tarde, está más que consumado. La nueva base técnica ha provocado la convergencia de sectores industriales, anteriormente considerados independientes tales como informática, telecomunicaciones, bienes de consumo durables y bienes de capital. Como consecuencia surge un nuevo macro-sector industrial o *complejo electrónico* regido por patrones competitivos propios. Veamos varios desarrollos y efectos:

- El sector electrónico es el mayor del mundo actual. Las solas ventas de semiconductores representaron 80.000 millones de dólares en 1992.
- La microelectrónica está en el centro de los sistemas tecnológicos que han originado la transformación de los sectores manufactureros tradicionales. Es horizontal, es decir, su impacto cruza a través de toda la industria.
- El diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida por computadora (CAM), han multiplicado incesantemente las posibilidades

de nuevos equipos y productos. Se acorta dramáticamente el ciclo de vida de los productos. La fábrica del futuro, basada en la manufactura integrada por computadora (CIM), permitirá la integración de varias funciones: producción de piezas, programación de máquinas, listado de partes, licitaciones y ofertas, de modo flexible.

- El sistema de telecomunicaciones casado con las computadoras ha dado lugar a un nuevo y pujante sector de servicios, por ejemplo: los bancos atienden mercados financieros durante las 24 horas. Los países industrializados se desplazan hacia economías basadas en servicios.

8.2.2 *Biotecnología*

La biotecnología es el avance más importante de las ciencias biológicas en este siglo, de acuerdo con William Roca, reconocida autoridad en este campo e investigador senior del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT): La biotecnología se refiere a cualquier técnica que usa organismos vivos para hacer o modificar un producto, para mejorar plantas y animales, o para desarrollar microorganismos de uso específico. La biotecnología hace posible el estudio y manipulación de los organismos vivos en el ámbito celular y molecular.

Desde el punto de vista puramente tecnológico, la biotecnología comprende tres grupos de tecnologías básicas:

- Fermentación, incluyendo bioconversión e inmovilización de enzimas.
- Clonaje de células somáticas y reproductivas, incluyendo el cultivo de microorganismos, tejidos y órganos vegetales y animales.
- Modificación genética a nivel celular y molecular, incluyendo identificación, mapeo, aislamiento y recombinación de genes.

Las aplicaciones de la biotecnología son promisorias en alto grado para contribuir a la conservación del medio ambiente, a la agricultura, a la agroindustria y a la industria farmacéutica:

- La selección y manipulación de microorganismos permite mejorar el control biológico de plagas, la recuperación de suelos y aguas contaminadas, la fertilización orgánica, el reciclaje de desechos y subproductos agrícolas y pecuarios, mediante microbios más eficientes.

- La conservación y mejoramiento de los recursos genéticos permite abrir genotecas, o «bibliotecas de genes», con nuevos potenciales económicos, para preservar especies en peligro de extinción. Las plantas transgénicas pueden resistir mejor las plagas. La fertilización «in vitro» produce vacas que dan más leche, carne con menos contenido de grasas, resistencia a enfermedades. La conservación «in vitro» permite la clonación masiva de genotipos superiores.

- Los microbios pueden utilizarse como «fábricas biológicas» de productos para la industria farmacéutica y biomédica. Las sondas de ADN permiten el diagnóstico certero de enfermedades.

8.2.3 *Nuevos materiales*

Es interesante observar anota Juanita Gana, quien ha sido miembro de la Comisión Chilena del Cobre e investigadora del Centro de Estudios del Cobre, que "La tensión de los años 70, provocada por el eventual agotamiento de las materias primas que sustentaban el funcionamiento de las economías industrializadas, quedó en el pasado. En el campo de los recursos naturales no renovables, la investigación y la búsqueda de una mayor productividad y eficiencia han reducido notoriamente su intensidad de uso, especialmente en el caso de metales tradicionales como el cobre, el zinc o el estaño".

En realidad, la estudiosa chilena plantea la sustitución de manera lúcida: se trata en realidad de *"nuevos materiales para las nuevas tecnologías".* Por razones estratégicas el gasto en investigación en materiales –estrechamente asociada a la velocidad adquirida por el avance tecnológico– haya aumentado sustancialmente a partir de la Segunda Guerra Mundial.

Es interesante observar cómo la investigación se ha visto orientada por la búsqueda de propiedades específicas, que permiten mejorar la eficiencia global de los procesos, habiéndose llegado en ello a un alto grado de control, gracias a la disponibilidad de instrumentos de gran precisión. Aspectos como la resistencia a las altas temperaturas, a los esfuerzos mecánicos y a la corrosión, así como la mayor eficiencia energética y la menor densidad, han constituido el centro de las investigaciones. Los nuevos materiales, visto su gran éxito, se extienden en su uso a áreas distintas de las que provocaron su desarrollo.

Al hablar de nuevos materiales nos referimos a polímeros, cerámicas, aleaciones especiales, nuevos metales como el zirconio, el hafnio, el berilio, el vanadio y el molibdeno. Algunos efectos y tendencias se describen a continuación:

- La implantación de nuevos materiales sintéticos permite combinaciones cada vez más funcionales a los diseños deseados en la industria; alta resistencia, menor peso, resistencia a la corrosión, capacidad aislante y térmica, facilidad de proceso.
- Los nuevos materiales generarán nuevas industrias, por ejemplo, plásticas. En la fabricación de máquinas y herramientas especiales surgen nuevos equipos para las nuevas técnicas de proceso. Los nuevos materiales tendrán una profunda influencia en las modificaciones de los patrones de producción, los procesos industriales y los productos.
- Ejemplos de sustitución recientes son los plásticos de alto desempeño en la fabricación de autos; el PVC por tubería metálica en la industria de la construcción; los cables de cobre por fibras ópticas en las comunicaciones.

- El uso de nuevos materiales conducirá nuevas oportunidades industriales. Los materiales superconductores constituyen amplio capítulo de investigación y de impacto futuro, con usos en el transporte, por ejemplo. En cerámicas no está distante la posibilidad de sustitución de los metales para fabricar motores de combustión interna.
- El desplazamiento provocado por los nuevos materiales reformará, por ejemplo, la caída del precio de los metales tradicionales; la reestructuración de operaciones a fin de bajar costos de producción y su reemplazo completo por otros productos.

8.2.4 *El significado de la actual revolución tecnológica: la adopción de un nuevo paradigma técnico – económico*

Debemos entender mejor el significado de una revolución tecnológica en sus componentes más generales, corriendo el riesgo de simplificarlo por la brevedad de su tratamiento. Tomamos la interpretación de Carlota Pérez, brillante científica social venezolana, de manera casi literal, por considerarla una de las más completas en sus múltiples trabajos sobre el tema.

El marco de referencia que ella toma es el de la teoría de las ondas largas en el desarrollo económico propuesta por Kondatrieff, Schumpeter y otros economistas. La teoría intenta explicar los ciclos de cincuenta a sesenta años que ha experimentado la economía mundial, con veinte o treinta años de prosperidad seguidos de otros veinte o treinta años de crecimiento muy desigual, de recesiones e incluso depresiones. La explicación sería, según Schumpeter, el surgimiento de revoluciones tecnológicas sucesivas y las dificultades de su asimilación. “Cada revolución tecnológica es un “huracán de destrucción creadora” que transforma, destruye y renueva el aparato productivo mundial”.

Detrás de cada gran auge se encuentra una revolución tecnológica:

La Revolución Industrial. Explica la prosperidad inglesa. Se basó en un salto tecnológico en la industria textilera del algodón y en la difusión de los principios de mecanización y de organización fabril a otras industrias.

El “Boom Victoriano”. A mediados del siglo XIX, se basó en ampliación de mercados gracias a redes de ferrocarriles y las escalas mucho mayores de la máquina de vapor.

La “Belle Epoque”. Subyace a ella el poder estructural del acero, desde entonces barato, las oportunidades de la electricidad y de la química moderna.

El “Boom Keynesiano” de la postguerra. Liderado por los Estados Unidos, resultó en los infinitos campos de aplicación de la producción en masa y el petróleo barato, empezando por los automóviles y los electrodomésticos, el armamento, la petroquímica.

La Revolución Informática. Está llamada a moldear las oportunidades que se desplegarán en un próximo período de prosperidad.

Los ritmos de crecimiento y los niveles de ganancias que ostentan los nuevos productos y las empresas que motorizan el salto tecnológico resultan impresionantes. Este crecimiento explosivo de los nuevos productos se amplía a sus insumos y a una nueva red de infraestructura que generalmente acompaña su despliegue en nuevos polos, regiones y sectores distintos de los tradicionales. Todo ello apareja un proceso de cambio en la estructura de la economía y del empleo de cada país y en el mundo. Se mueven hacia las posiciones de punta aquellos que dominan las nuevas tecnologías. Esto ocurrió a Alemania y EEUU frente a Inglaterra, a comienzos de siglo, y lo hemos visto en estos tiempos con el salto de Japón hacia la punta y con el avance de varios países rezagados de Asia hacia la condición de desarrollados.

Estos procesos de cambio llevan a toda la renovación del aparato productivo existente. Esto es justamente lo que hace que el nuevo sistema tecnológico merezca el calificativo de “revolución”. Se articula entonces un nuevo paradigma o patrón tecnológico que marca una manera óptima tecnológica y organizativa de hacer las cosas, encarnada en tecnologías genéricas aplicables a lo largo y ancho del aparato productivo, a cualquiera sea el producto o servicio y a todo tipo de organizaciones y actividades.

El potencial de generación de riqueza es inmenso gracias a dos oportunidades que abre el nuevo paradigma:

- Las industrias nuevas ofrecen un amplísimo espectro de oportunidades inéditas de inversión e innovación. Aunque las empresas no hayan ido muy lejos en el paradigma anterior, pueden adoptar el nuevo modelo y subirse a la nueva ola de crecimiento espectacular de los productos revolucionarios(esa es en parte la explicación del éxito de los Tigres Asiáticos).

- El nuevo patrón tecnológico y organizativo brinda herramientas para modernizar el resto de la economía, aumentando su productividad y efectividad. Quien no se renueve corre el riesgo de ser barrido del mercado. Se requiere un vasto reciclaje de calificaciones y considerables montos de inversión.

Sin embargo, pese a las grandes oportunidades, la adopción del nuevo paradigma tecnológico y organizativo encuentra resistencia. En el fondo, se trata de adoptar un nuevo “sentido común” o de otra forma de pensar la eficiencia. Dicha adopción requiere un cambio cultural.

8.2.5 *Respuesta a las nuevas oportunidades*

Aumentar la capacidad de competir en los mercados con mejores productos, procesos y diseños basados en las nuevas tecnologías, es un objetivo dominante de las empresas y de los estados en la actual onda económica, especialmente de los países industrializados. La nueva industrialización, más que los precedentes, se inspira en la gestión de los talentos en la producción. La innovación tecnológica es un objetivo central de la gerencia. Ciencia y tecnología se van fusionando casi en las propuestas de competitividad.

Algunos teóricos como Carlota Pérez especialmente, sostienen que por estar todavía en procesos de maduración las tecnologías que sustentan el actual ciclo productivo, los países en desarrollo tienen opciones siempre y cuando adecuen sus instituciones y políticas de apoyo. “Podría decirse que mientras más incipiente es una tecnología mayores son las posibilidades de entrada autónoma, dado un cierto nivel de dotación de recursos humanos calificados”. El aprendizaje inicial, los conocimientos académicos, los costos más bajos al comienzo por tratarse de empresas pequeñas, ayudan a abrir las oportunidades. Las nuevas industrias de mini y microcomputadores comenzaron así en los años setenta. Hay menos barreras al comienzo. La biotecnología parece ofrecer estas oportunidades en algunos campos.

Queda planteado también un gran interrogante –quizás más pertinente para un país como Colombia– sobre cómo difundir los nuevos paradigmas tecnológicos y gerenciales en la economía y en las empresas, en los sectores privado y público. Una posible respuesta está dada por las políticas gubernamentales en ciencia, tecnología e innovación que discutiremos en una próxima sección. Incluso por estudios importantes que vienen ofreciendo luces.

Según Heidegger, l*a esencia de la técnica no tiene nada de técnico*. Un estudioso del cambio técnico, ex Ministro de Industria de Chile, Carlos Ominami, cita al filósofo en favor de una importante tesis: “por sobre su configuración material la técnica es siempre una *forma social* de relación con la naturaleza. De ahí que el proceso que media entre la aparición de una determinada innovación tecnológica y su integración plena a un sistema social de producción esté sujeto a múltiples determinaciones”. Todo ello es más complejo en la actual coyuntura y en la perspectiva futura porque, como anota también Carlota Pérez, el viraje no se circunscribe a áreas específicas sino que abarca el conjunto del sistema técnico y de la organización social.

Se requieren profundos cambios culturales, institucionales y políticos que apenas mencionaremos. La crisis colombiana ha acicateado el estudio de opciones y modelos que deben sufrir nuevas síntesis en este sentido. Ejemplos como el de la Misión de Ciencia y Tecnología, ya mencionado en este documento, se vienen impulsando en varios sectores de actividad nacional, regional y sectorial. La verdad es que falta traducir todo ello a verdaderos niveles de compromiso político.

No todo son estudios, por supuesto. En Colombia se vienen ensayando, por ejemplo, nuevos esquemas institucionales como reformas constitucionales, reformas a la justicia, reformas educativas, apertura de la economía, nuevas leyes de ciencia y tecnología. Sin duda, la definición de un nuevo camino social y político tendrá que aparejar la redefinición de las tareas del Estado y de las empresas con respecto a nuevos modelos productivos. Quizás se trate de la profundización de un Sistema Nacional de Innovación basado en un consenso entre los actores y en el marco de nuevas solidaridades sociales que superen los arcaísmos de todo tipo que frenan un eventual despegue.

Elementos de perturbación tan profundos como el narcotráfico no estaban presentes en otros países en el momento de implementar estas propuestas.

Otra esfera de enormes implicaciones es la de la cooperación internacional, sobre todo en vista de los desarrollos globales que no permiten mucho optimismo como veremos, pues faltaría también una nueva solidaridad prácticamente planetaria que ponga remedio a la desarticulación de las economías en desarrollo con respecto a la “tríada” de economías que ha concentrado los frutos del progreso tecnológico y científico, y que discutiremos más adelante.

Cambios de enfoque, por ejemplo, el paso de una industrialización por sustitución de importaciones y proteccionismo, a una más abierta y a tono con la escala global, podrían ser un acicate que obligue a mejorar la tecnología dentro de patrones universales de competitividad.

LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 8

1. Describa la transformación industrial en curso en sus propias palabras.

____
____
____

2. Tres tipos de tecnologías constituyen una especie de epicentro de la actual onda de cambio industrial. ¿Cuáles son?

____
____
____

3. ¿Cuál de las tecnologías citadas se caracteriza por impactar casi todo el universo de la manufactura?

____
____
____

9. LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO

9.1 Los objetivos básicos

Desde la primera revolución industrial se ha puesto en evidencia la importancia de la tecnología en el desarrollo nacional. La aplicación de la tecnología ha propiciado una tremenda elevación del nivel de vida en los últimos doscientos años. De otra parte, la ausencia de esta aplicación ha contribuido a mantener a los países en desarrollo en niveles precarios. Los indicadores de población, ingresos y empleo, así lo atestiguan.

Es de dudar que los países en desarrollo puedan permitirse un cambio tan gradual como el de sus predecesores industrializados. Necesitan lograr en décadas lo que se logró en siglos.

La tecnología ha sido reconocida como un poderoso motor de crecimiento de la economía. Se ha comprendido que un país subdesarrollado es el que tiene una débil base tecnológica.

Si quieren valerse de dicho motor, los países en desarrollo no pueden hacer aproximaciones esporádicas al tema. Se requiere un gran esfuerzo sistemático y sostenido, para impulsar el desarrollo tecnológico y científico.

Ciertos objetivos fundamentales y de mediano plazo deben presidir el desarrollo científico-tecnológico:

- La satisfacción de las necesidades básicas de la población.
- Su incorporación al mercado de bienes y servicios.
- La compatibilidad del proceso con el medio físico. El estilo de desarrollo más armonioso con el entorno debe ser un objetivo de largo plazo.

Pero no se crea que las solas ciencia y tecnología bastan para impulsar exclusivamente el desarrollo, pues es la organización de la producción la que permite a un país poder aprovechar sus recursos científicos y técnicos y generar nuevos potenciales. El subdesarrollo extremo no crea presión alguna a favor de la investigación científica y tecnológica. Este punto implica un enorme desafío a la gestión que organiza todos los recursos de manera productiva.

Es preciso a estas alturas profundizar y precisar mejor el significado que revisten para un país en particular la ciencia y la tecnología en tanto se relacionan con otras esferas de la sociedad. Hasta ahora hemos visto más su relación con la producción, pero no es menos importante ver esta relación con la educación y con la cultura. Un ejercicio llevado a cabo en Colombia permitió examinar estos temas con inusual grado de conciencia y se trató de la “Misión de ciencia y tecnología”, integrada por diez eminentes figuras de la creación

científica, tecnológica, empresarial y de las mismas letras. Su informe, pieza que traza un verdadero plan de navegación en estas materias, fue conocido como *Colombia: al filo de la oportunidad* y se constituye en lo que en otros países es conocido como un *Libro blanco de la ciencia y la tecnología*.

“Para nuestra cultura, las ciencias y las tecnologías son nacidas fuera, generadas en el exterior e importadas en Colombia: en una palabra, son exógenas. Para que la ciencia y la tecnología se vuelvan endógenas, proponemos un gran plan de endogenización de la ciencia y la tecnología en la cultura cotidiana”, escribía en la introducción al Informe el Comisionado Carlos Eduardo Vasco. Es de destacar que la reflexión lograda, como lo ve el Comisionado, propone un “Proyecto de nueva civilización” para Colombia.

9.2 Cinco factores de vinculación entre ciencia, tecnología y desarrollo

De acuerdo con la Misión, son cinco los factores que definen los principales vínculos entre ciencia, educación y desarrollo, y por lo tanto constituyen los principales canales a través de los cuales se realiza el proceso de endogenización: la apropiación social de la ciencia y la tecnología; la generación de conocimiento y la educación; la producción; conocimiento, cambio social y desarrollo del ciudadano; desarrollo sostenible y diversidad biológica y cultural.

9.2.1 *Apropiación social de la ciencia y la tecnología*

La posesión del conocimiento genera por sí misma riqueza intelectual y permite al individuo alcanzar una mayor armonía con su entorno. Por ello debe fomentarse el estudio de la ciencia en todos los niveles del aprendizaje: básico, medio y universitario. El estudio de los fenómenos naturales y la búsqueda de su razón de ser constituyen el mejor de los estímulos para el desarrollo de la inteligencia. La inteligencia es el factor más importante para el cambio y el desarrollo, y por ello debe favorecerse para así formar y consolidar el más valioso patrimonio del país.

9.2.2 *Generación de conocimiento y educación*

La relación cercana entre ciencia y desarrollo depende de la interacción entre educación e investigación. Si se quiere que la educación forme ciudadanos con capacidad de comprender, la única vía posible es la de asegurar una estrecha relación entre la educación como proceso de aprendizaje y la investigación como proceso de generación y adaptación de conocimiento. Sin la investigación, la educación se convierte rápidamente en la transmisión mecánica y estática de información, negando así la posibilidad de desarrollar una capacidad de análisis y comprensión, y una actitud innovadora que busque entender las relaciones existentes entre los fenómenos biológicos, físicos y sociales.

9.2.3 *Ciencia, tecnología y producción*

A lo largo del presente documento se ha puesto el mayor énfasis en la capacidad transformadora tanto de la ciencia como de la tecnología en el modelo productivo y se ha descrito brevemente el significado de su evolución. La Misión de Ciencia y Tecnología reconoce plenamente que en el mundo industrializado de hoy la ciencia y la tecnología se han convertido en factores de competitividad y de acceso a mercados. Ya vimos en la sección 7.2 que el conocimiento en sus múltiples formas es el componente más importante de lo que los economistas han llamado el *factor residual* para explicar el crecimiento económico, más allá del papel que desempeñan los factores clásicos de producción como el capital, la tierra y el trabajo. Advierte la Misión, de modo similar al presente documento, que los avances en biología molecular, en biotecnología, nuevos materiales, en informática y en microelectrónica, están forjando un nuevo paradigma técnico y económico, caracterizado por sistemas de producción intensivos en ciencia y, por lo tanto, más dependientes de la calidad de los recursos humanos y de la aplicación directa del conocimiento científico.

9.2.4 *Conocimiento, cambio social y desarrollo del ciudadano*

De nada nos serviría insistir en la potencial importancia del conocimiento en la sociedad si no partimos de la realidad social colombiana y su estudio. La generación de conocimiento no se refiere sólo al mundo natural sino al humano. La tecnología está allí, muchas veces, aparentemente disponible; sin embargo, no se la incorpora en la sociedad, porque está sujeta a procesos socioculturales e institucionales. Uno de ellos, el de la intervención del Estado, el papel de la sociedad civil, las relaciones entre el capital y el trabajo. Los profundos procesos de transformación que vive el mundo han desembocado en cambios fundamentales en la relación entre los principales sectores de la sociedad y entre estos últimos y la economía. Las ciencias sociales y humanas, hasta ahora poco tratadas, pueden hacer su mayor aporte a la comprensión de las complejas variables del cambio y del conflicto. Mientras la violencia sea el patrón de conducta casi normal en una sociedad, muy poco puede augurarse en su desarrollo. Por ser de especial vigencia, reproducimos el razonamiento que tuvo la Misión al respecto en el recuadro 9.1.

Recuadro 9.1: *El papel de las ciencias humanas*

Uno de los principales desafíos que se presentan en este contexto es el del alto nivel de conflicto social y de violencia en la sociedad colombiana. Este problema está estrechamente relacionado con la formación ética del ciudadano y con la consolidación de valores básicos. La investigación en ciencias sociales y humanas tiene un papel vital en fomentar la capacidad de convivencia y lograr un consenso social lo suficientemente sólido para que se creen las bases de un nuevo pacto social.

La investigación en ciencias sociales y en ciencias humanas está llamada a desempeñar un papel central en la mejor comprensión de los procesos de transformación social y de sus causas. Para responder a los anteriores desafíos se requiere que la investigación se relacione con procesos de innovación social, orientados a desarrollar estructuras o arreglos institucionales más eficientes y equitativos, así como marcos normativos que reflejen los cambios que se están introduciendo en aspectos tales como las nuevas formas que está tomando el Estado y sus modos de acción en la sociedad colombiana.

El estudio y la reflexión sobre la realidad del país por medio de la investigación y de la búsqueda de nuevos arreglos sociales, son la principal fuente para consolidar la nacionalidad y la cultura colombianas, y para buscar el desarrollo de una sociedad más participativa y equitativa. La investigación en ciencias sociales y el conocimiento generado por ella desempeñan un papel central en la consolidación de nuestra identidad cultural.

En el mundo contemporáneo la dimensión organizacional de la acción en cualquier sector de la sociedad ha tomado una importancia mayor que la que había tenido en etapas anteriores al desarrollo humano. Una buena parte de las actividades culturales, productivas, de acción e intervención social, está en manos de ellas. Por ello es necesario investigar sobre el desarrollo de organizaciones con capacidad de aprendizaje.

El cultivo de un mayor consenso social sobre temas de interés nacional y la relevancia global y el diseño de arreglos institucionales innovadores que aseguren una cultura política más participativa hacen indispensable la creación de espacios sociales para el debate público, en los cuales se pueda socializar el conocimiento y facilitar la participación de los ciudadanos en decisiones colectivas sobre la orientación del desarrollo y del devenir histórico de nuestra sociedad. Esta dimensión de la relación entre investigación y desarrollo social lleva a plantear el tema de la gobernabilidad y de las diversas formas que está tomando la consolidación de la sociedad civil.

9.2.5 *Ciencia, desarrollo sostenible y diversidad biológica y cultural*

La crisis ambiental global se ha convertido en una de las claves de la problemática mundial contemporánea y, en consecuencia, ha motivado profundos replanteamientos en las diversas disciplinas del conocimiento, la tecnología y las políticas de desarrollo, así como en la articulación del desarrollo local y global. En el caso de las ciencias naturales ha propiciado la redefinición de sus propios objetos de análisis, dando paso a concepciones más holísticas con base en el estudio de los ecosistemas. En el caso de las ciencias sociales este fenómeno ha estimulado el desarrollo de modelos capaces de interpretar mejor las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. El resultado de este esfuerzo ha sido la creación de un nuevo paradigma, el *desarrollo sostenible,* a través del cual se busca hacer compatibles las necesidades del desarrollo socioeconómico con la conservación del medio ambiente para garantizar a largo plazo la calidad de la vida a futuras generaciones.

Colombia debe aspirar a valorizar y a manejar efectivamente mediante la investigación su enorme biodiversidad. Agregaría con el Sabio Caldas, hace doscientos años, que “somos pobres porque no conocemos nuestros recursos”. Además de la biodiversidad, otra de las riquezas con que cuenta el país es la diversidad cultural que caracteriza a la sociedad colombiana. Esto otorga posibilidades de integrar diversas formas de saber, como los sistemas indígenas de conocimiento al desarrollo del país, no solamente en lo relacionado con el manejo y la preservación de recursos naturales, sino también con múltiples aspectos relacionados con la producción y la organización social.

LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 9

1. Puede afirmarse de manera amplia que la conexión entre la ciencia y la tecnología, de un lado, y la sociedad y el desarrollo de otro, con los beneficios consiguientes –lo cual es el tema medular del presente ensayo– se produce en la medida en que se dé un adecuado tratamiento a varias áreas o factores. ¿De qué áreas estamos hablando?

2. Se vienen abriendo paso nuevas concepciones del desarrollo. Se inspiran justamente en que las tecnologías se manejen en los correspondientes sistemas de producción de una manera cuidadosa, quiere ello decir buscando no sólo la máxima explotación económica en detrimento y mengua de los ecosistemas y teniendo en cuenta su incidencia e un sistema mundial. Con todo ello se quiere significar que la I&D y la tecnología deben contribuir a otro tipo de desarrollo. ¿Cuál es la dimensión principal de ese tipo de desarrollo?

CLAVE DE RESPUESTAS – AUTOEVALUACIÓN Nº 9

1. Hablamos de ciencia y tecnología que se enseñe en la educación primaria, secundaria y universitaria, a fin de que la sociedad en su conjunto se apropie de ellas. Que la investigación vaya de la mano de la educación, con el fin de que puedan crearse en la comunidad capacidades de análisis y de comprensión de las relaciones entre los fenómenos. Y que se difundan en el aparato productivo del país y que éste las asimile debidamente.

2. El desarrollo sostenible.

10. POLÍTICA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

10.1 El interés en las políticas de ciencia y tecnología

Sólo muy pocos ejemplos de la adopción de la ciencia y la tecnología como base del desarrollo económico y social y como dinamizador de la estructura productiva, se pueden poner fuera de Europa y los Estados Unidos en este siglo. Uno de los primeros en hacerlo fue Japón, quien literalmente asumió el manejo de la tecnología en función de poderosos objetivos estratégicos como una prioridad nacional. Fue considerado en la literatura como un "late come", o sea, último en llegar.

La gran mayoría de países del Tercer Mundo no transitaron un camino similar. Estaba por fuera de su horizonte alentar estas actividades como propulsor del desarrollo económico. Prácticamente es sólo hasta los años sesenta que nace un nuevo interés en contar con políticas de ciencia y tecnología, de modo similar a como se tenían políticas educativas, de comercio exterior, agrícolas o industriales. La carencia de antecedentes casi absoluta no permitía a los gobiernos contar con pautas para organizar y fomentar esta compleja actividad.

El interés general por la política científica y tecnológica en los países en desarrollo provino de varias influencias, según Francisco Sagasti, en su *Informe del proyecto de mecanismos e instrumentos de política científica y tecnológica*, en 1978, con la participación de diez países de todo el mundo entre los cuales estuvo Colombia. Veamos cuáles:

- La creciente conciencia de que la tecnología de base científica se había convertido en factor clave del crecimiento de la industria occidental en estos últimos 150 años.

- La reintroducción de consideraciones de carácter tecnológico en la teoría económica –que las había soslayado durante la mayor parte del segundo tercio de este siglo.

- El relieve dado a las diferencias en dinamismo y liderazgo entre la industria europea y la norteamericana y atribuidas a causas tecnológicas.

- El relieve dado al liderazgo tecnológico en las consideraciones de carácter defensivo entre Este y Oeste durante los tiempos de la guerra fría.

Adicionalmente, el éxito de la industrialización japonesa despertó grandes inquietudes sobre el papel que jugaron la tecnología y la educación en dicho proceso y sirvió de inspiración en la medida en que los japoneses habían hecho su desarrollo prestando y transfiriendo tecnología más que desarrollándola originalmente.

La atracción de los países subdesarrollados hacia los problemas de la política científica y tecnológica se deben en buena medida al fracaso relativo que han tenido en los procesos de industrialización en la posguerra. La nueva preeminencia que fueron cobrando ciencia y tecnología en el mundo industrializado fue también un factor que interesó a los países en desarrollo. La difusión hecha por los organismos y por los expertos internacionales de este nuevo tema de preocupación del desarrollo contribuyó a la adopción de medidas públicas relacionadas con el fomento de la ciencia y la tecnología.

En un primer momento esta preocupación se orientó a identificar instituciones, capacidades y recursos de ciencia y tecnología presentes en los países industrializados y ausentes en los subdesarrollados y a saber cómo lo hacían. La falta de antecedentes llevó a muchos países en desarrollo y a las organizaciones de cooperación internacional a estudiar cómo actuaban la infraestructura institucional de los industrializados para hacer investigación y desarrollo, sus instituciones de educación superior y los organismos de apoyo a la ciencia.

Ciertos documentos aportaron sus luces en el escenario latinoamericano y sientan las bases conceptuales para orientar las políticas en estos dominios. En 1969, Jorge Sábato y Natalio Botana publican un documento de gran influencia, *La ciencia y la tecnología en el futuro de la América Latina*. Con base en el análisis internacional del tema y una reinterpretación del libro recientemente editado de J. K. Gailbraith, *El nuevo Estado industrial*, examinan con inigualable profundidad las tareas que corresponden al Estado, a la comunidad científica y al sector empresarial y las relaciones coherentes que deben construir para incorporar al desarrollo de los países latinoamericanos esta poderosa variable. Sin ella, advertían Sábato y Botana, las naciones latinoamericanas se quedarían sin soberanía, sólo con sus símbolos, las banderas y los himnos, pero sin viabilidad histórica. En los países que habían profundizado la sustitución de importaciones y que habían logrado un avance relativamente mayor en la industrialización, como Argentina, se generaban estas influencias intelectuales y se compartían con toda la región.

10.2 Qué contienen las políticas de ciencia y tecnología

Se distinguieron con el tiempo políticas explícitas e implícitas de ciencia y tecnología. El modelo latinoamericano, de industrialización de tipo proteccionista y por sustitución de importaciones, engendró su propio estilo tecnológico y es un buen ejemplo de una política implícita de industrialización que va a determinar, entre otras cosas, el uso de insumos tecnológicos importados en detrimento de los locales. Otros países, los asiáticos, siguieron políticas de exportaciones y conexión con los mercados mundiales, lo que condujo a otro tipo de perfil tecnológico. En el caso colombiano se llevaron a cabo análisis históricos sobre el papel de la inversión extranjera, del comercio exterior, del manejo de divisas, vistos como condicionantes del desarrollo tecnológico y, por lo tanto, con el valor de políticas implícitas. Es de advertir que no es fácil

conjugar la coherencia entre estos dos niveles. Se puede tener una excelente política de explícita formación de científicos e ingenieros; pero sin una política industrial adecuada se carecería de campos de empleo para dichos científicos e ingenieros, con lo cual se abona el terreno a la conocida "fuga de cerebros".

Las políticas explícitas contienen varios niveles de acción. Uno de ellos ha sido la definición de objetivos prioritarios que, de alguna manera, varían con las circunstancias de cada época, de cada país y según las capacidades y la experiencia de los equipos nacionales para hacerlo.

10.3 Las políticas de ciencia y tecnología en Colombia

En América Latina ha sido una constante en casi todas las políticas nacionales la creación y el refuerzo de capacidades de investigación y desarrollo en las universidades e institutos especializados y buscar su compatibilización con las políticas y planes generales de desarrollo de los países. La formación de recursos humanos, los concursos de proyectos científicos, el estímulo a grupos y a redes de investigadores, han sido varios de los mecanismos empleados. La formación de la comunidad científica nacional se reconoce como una prioridad.

Como contrapunto, se ha señalado la vinculación de las capacidades científicas y tecnológicas a la solución de los problemas del sector productivo y de otros sectores sociales. La promoción de la vinculación entre la oferta y la demanda de conocimiento ha sido otro objetivo de las políticas de ciencia y tecnología, aunque sólo parcialmente cumplido, según lo reconocen varias evaluaciones.

En los años setenta, en virtud de los compromisos de la política tecnológica del pacto andino, las políticas nacionales colombianas se trazaron el objetivo de mejorar los procesos de importación de tecnología del exterior y entre los varios mecanismos adoptados desarrollaron programas de negociación de tecnología.

El aumento de la inversión pública y privada para ciencia y tecnología ha sido un objetivo durante varios años y ha crecido significativamente. La inversión ha aumentado en 1996, por ejemplo, a más del doble en comparación con lo invertido en 1993, pasando del 0.1% al 0.25% del PIB.

Las políticas han mostrado ya sus bondades en el país, como lo destaca Eduardo Posada, Presidente de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia: "Los instrumentos de política y las nuevas posibilidades que han surgido por el fortalecimiento de la capacidad científica y tecnológica nacional, han generado una dinámica positiva, que ha hecho que Colombia sea uno de los países que más rápidamente ha progresado en ese sector en América Latina".

Uno de los logros colombianos en política de ciencia y tecnología ha sido el de construir un marco institucional coordinado por Colciencias, respaldado

por un marco jurídico, que no sólo ha contribuido a dinamizar al país en torno a los objetivos de desarrollo científico y tecnológico, sino que ha mantenido una tarea de creador de puentes entre las diferentes zonas de la actividad científica y tecnológica, al punto que bajo su coordinación comienzan a movilizarse ya la comunidad científica y la empresarial que acredita muy buenos ejemplos de innovaciones intensivas en tecnología y fruto de la financiación otorgada. La experiencia y el aprendizaje ganados en desarrollo institucional, en la planeación y la gestión de proyectos y recursos humanos, físicos y financieros, son un activo a favor del desarrollo colombiano. Lo científico-tecnológico –sus marcos institucionales y sus gentes– tienden crecientemente a integrarse en el caso colombiano con lo económico y empresarial.

Con los nuevos hechos económicos –apertura, globalización, competitividad– que prácticamente introducen un cambio radical en el contexto económico y, por lo tanto, en las políticas implícitas, se han generado nuevas propuestas de política, esencialmente destinadas a crear un sistema nacional de innovación que articule a los múltiples actores del desarrollo productivo en propósitos comunes, con el fin de multiplicar los beneficios de la inversión en ciencia y tecnología en el desarrollo económico y cultural del país.

En la lectura del recuadro tenemos acceso a una síntesis bien lograda sobre las áreas de acción, los propósitos, las prioridades de las recientes políticas de ciencia y tecnología en Colombia, preparado por Colciencias.

Recuadro 10.1: *Política nacional de ciencia y tecnología*

El marco legal de la política reciente de desarrollo científico y tecnológico lo constituyen la Constitución de 1991, la Ley 29 de 1990 y los Decretos Ley 393, 385 y 591 de 1991. En los últimos años de la década de los ochenta se diseñó en sistema nacional de ciencia y tecnología, que se puso en marcha durante el primer lustro de la década de los noventa. Bajo este esquema institucional, la formulación de políticas y programas de desarrollo científico y tecnológico esta a cargo del consejo nacional de ciencia y tecnología y de once consejos nacionales definidos en términos de sectores de la producción o áreas de la ciencia. Estos consejos nacionales iniciaron sus operaciones en los últimos seis años. Una parte creciente de los fondos de investigación se está canalizando a través de ellos. Como parte de las reformas que se llevaron a cabo en 1990, COLCIENCIAS quedó adscrita al Departamento Nacional de Planeación con el fin de aumentar su capacidad de fortalecer la investigación y el desarrollo tecnológico en los diversos sectores de la vida nacional, y de desempeñar la función de secretaría técnica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

En el contexto de este marco institucional entre 1990 y 1994 se adelantó la política de **ciencia y tecnología para una sociedad abierta**, en la que se puso énfasis en los siguientes aspectos: 1. La integración del sector privado y del académico mediante su participación en los consejos nacionales; 2. La creación de nuevas formas de asociación entre el sector público y el sector privado con base en la ley de ciencia y tecnología, mediante la creación de corporaciones mixtas regidas por el derecho

(Continúa...)

(Continuación)

privado; 3. La descentralización de la investigación con la creación de siete comisiones regionales de ciencia y tecnología; 4. La formación de recursos humanos; y 5. El fomento de la integración con redes internacionales de ciencia y tecnología.

Las políticas enunciadas en la sección anterior han sentado las bases para un mayor desarrollo científico y tecnológico en el país. La inversión del Gobierno Nacional en investigación científica y tecnológica ha oscilado en torno al 0.3% del PIB en los últimos años. Si se incluyen los programas de transferencia de tecnología, la cooperación técnica internacional, la inversión privada y los costos de funcionamiento del sistema, la inversión se eleva al 0.5% del PIB. Esta cifra es muy baja si la comparamos con los niveles de inversión que se observan en los países industrializados o de mayor dinamismo económico (en los que fluctúa entre un 2% y un 4% del PIB), y aun si la comparamos con algunos países de América Latina en los cuales los niveles de inversión se aproximan al 1%.

La investigación que se realiza en Colombia se concentra en cinco sectores institucionales: universidades, institutos de investigación públicos, corporaciones mixtas de derecho privado, centros de investigación privados y empresas del sector productivo.

Entre noviembre de 1993 y agosto de 1994 se llevó a cabo la **misión de educación, ciencia y desarrollo** que presentó sus recomendaciones en el informe "***Colombia: Al filo de la oportunidad"***. Durante esta Misión se realizaron reuniones y consultas en diversas regiones del país, lo que permitió, a través de un mecanismo participativo, integrar ideas y opiniones de investigadores e instituciones científicas y tecnológicas a lo largo y ancho del país. En la política del gobierno saliente, que se describe a continuación, se reflejan y se desarrollan muchas de las recomendaciones presentadas por dicha Misión.

- Uno de los principales ejes de la Política de Desarrollo del gobierno que finaliza ("**el salto social**") es el del fomento del desarrollo científico y tecnológico, como elemento fundamental de la política de internacionalización de la economía. En el desarrollo de esta política, en noviembre de 1994 el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) aprobó la nueva **política nacional de ciencia y tecnología que cubre el período 1994-1998.** Dentro del marco de la política general definida por el CONPES, se han concretado los Programas que constituyen el plan de acción denominado ***ciencia y tecnología para un desarrollo sostenible y equitativo***. Es importante resaltar la gran prioridad que el gobierno le dio a la ciencia y la tecnología, como uno de los principales elementos de su estrategia general de desarrollo.

El objetivo general de la política fue integrar la ciencia y la tecnología a los diversos sectores de la vida nacional, buscando incrementar la competitividad del sector productivo en el contexto de una política de internacionalización de la economía, y mejorar el bienestar y la calidad de vida de la población colombiana.

Dentro de este objetivo general, se plantearon ocho objetivos específicos que orientaron las actividades en este campo. Estos fueron:

- Fortalecer la capacidad de investigación científica y de generación de conocimiento en el país, a través del apoyo a la investigación en el sector académico y a través de la creación y consolidación de grupos y centros de investigación, con el fin de ampliar la infraestructura y la comunidad científica nacional y vincularla a la ciencia mundial.

(Continúa...)

(Continuación)

- Contribuir al establecimiento y consolidación del sistema nacional de innovación, con el fin de incrementar la competitividad del sector productivo y su capacidad de inserción exitosa en los mercados internacionales, fortalecer su capacidad de gestión tecnológica, y desarrollar las instituciones y los servicios necesarios para apoyar los procesos de innovación y cambio tecnológico en las empresas del país.
- Incrementar el tamaño y mejorar la calidad de la comunidad científica colombiana, tanto en el sector académico como en los sectores público y privado, por medio de la formación de recursos humanos, especialmente de científicos y de investigadores, en diversas áreas de la ciencia y la tecnología.
- Apoyar y fortalecer el desarrollo de la investigación y de la comunidad científica en el campo de las ciencias sociales, con el fin de incrementar la capacidad nacional para hacer investigación sobre temas estratégicos para el desarrollo social, cultural y económico de la sociedad colombiana, para preservar el patrimonio y la diversidad cultural, y para mejorar la efectividad de las políticas y los programas de desarrollo social.
- Desarrollar y fortalecer la capacidad de investigación de carácter interdisciplinario sobre recursos naturales, que conduzca a la generación de conocimiento, y a la valoración, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad del país, acorde con el desarrollo humano sostenible, como parte del proceso de formular e implementar la estrategia nacional de biodiversidad. En forma complementaria se buscó estimular el desarrollo de tecnologías y sistemas de producción que permitieran la conservación y manejo sostenible de los recursos biológicos, favoreciendo la calidad de vida de las comunidades.
- Descentralizar y regionalizar las actividades científicas y tecnológicas del país con el fin de fomentar un desarrollo más equitativo, facilitar un más amplio acceso a los beneficios de la ciencia y la tecnología, y asegurar que los esfuerzos en este campo respondieran a las necesidades de cada región del territorio nacional.
- Promover y fomentar el desarrollo y consolidación del sistema nacional de información científica y tecnológica, incentivar la aplicación de las tecnologías más avanzadas de información en todos los sectores de la sociedad colombiana, y estimular la investigación sobre políticas de información que permitieran discernir el impacto ejercido por los recientes cambios tecnológicos a nivel global, sobre la sociedad, la cultura y la economía nacionales.
- Desarrollar y promover una mayor comprensión social de la ciencia y la tecnología y de su aplicación en la vida diaria de la población, especialmente entre jóvenes del país, como parte de un proceso orientado a facilitar la apropiación social del conocimiento y la integración de la ciencia y la tecnología a la sociedad y la cultura colombianas.

Para alcanzar estos objetivos, la política de ***ciencia y tecnología para un desarrollo sostenible y equitativo*** se basó en **cinco estrategias**, dentro de las cuales se desarrollaron los diversos programas de fomento y de apoyo a la investigación y a la innovación. Estas cinco estrategias fueron:

- Desarrollar y fortalecer la capacidad nacional de ciencia y tecnología.
- Crear condiciones de competitividad en el sector productivo nacional, por medio de la creación y fortalecimiento de un sistema nacional de innovación.
- Fortalecer la capacidad para mejorar el bienestar de la población colombiana, por medio de la investigación sobre la realidad social del país y de mejorar la gestión de las políticas y los programas de desarrollo social.
- Generar y aplicar conocimiento científico y tecnológico orientado a asegurar un desarrollo sostenible.
- Integrar la ciencia y la tecnología a la sociedad y a la cultura colombianas.

Es preciso no olvidar que la complejidad de la formulación, altamente participativa, de las estrategias y políticas de ciencia y tecnología y ahora de innovación tecnológica, demandan de sus promotores ocuparse de muchas acciones simultáneas, muchas veces aparentemente dispersas, pero necesarias para introducir los efectos sistémicos deseados: mejora en la educación, discusión de la política económica, coordinación con los aspectos internacionales, financiamiento, mejoramiento de la gestión en todos los planos. La persistencia y la paciencia son otras dos condiciones que en ocasiones se pierden al juzgar estas acciones, pues se piden resultados de corto plazo que pueden dar al traste con toda una acumulación.

Conviene enfatizar en las conclusiones que planteó el informe Gibbons y que nos parecen pertinentes para el caso colombiano:

“A medida que se despliega la complejidad de la ciencia y la tecnología contemporáneas, las soluciones propuestas a las deficiencias actuales del desarrollo parecen mucho más sencillas. Las sociedades que pudieron construir instituciones científicas y tecnológicas lo hicieron dentro de un amplio contexto de elevación de los niveles educativos, de promoción de la industrialización y de desarrollo de competencia científica, tecnológica y de gestión. No se pudieron dar por sentadas las convicciones en los valores de la ciencia y de la enseñanza superior, sino que se las tuvo que instalar. Las actividades científicas, tecnológicas y educativas no pudieron considerarse como preocupaciones sólo para los científicos, ingenieros y educadores”.

“En su conjunto, aquellos países en vías de desarrollo que fueron capaces de mantener políticas más complejas y multifacéticas por lo que se refiere a la ciencia, la tecnología y el desarrollo industrial, tuvieron más éxito que aquellos otros que se involucraron principalmente en proyectos ambiciosos, de largo alcance y de mayor prestigio”.

Está más allá de la pretensión de la presente introducción analizar la compleja y en muchos casos dolorosa crisis de Colombia, sus conflictos armados, su violencia recurrente, la influencia nefasta del narcotráfico, sus debilidades económicas y altibajos, su carencia de un firme modelo productivo que despliegue sus recursos humanos y naturales y, sobre todo, que abra cauces a la juventud para construir las empresas del futuro y la nueva solidaridad social. No iremos más allá de afirmar que las semillas de comprensión humana, física y biológica del país que habitamos ya han sido sembradas por el movimiento de ciencia, tecnología y desarrollo en Colombia.

POLÍTICA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 10

1. Los gobiernos de los países en desarrollo han adoptado casi sin excepción políticas de ciencia y tecnología, con base en consideraciones como el éxito logrado por ciertos países en sus procesos de industrialización. ¿De cuáles países hablamos especialmente, según los análisis de ciertos autores?

2. La diferencia existente entre los modelos de industrialización que se adopten marcan al parecer fuertes diferencias en el tipo de desarrollo tecnológico resultante. Mencione dos grandes modelos de industrialización.

3. Un objetivo ha sido perseguido por la mayoría de las políticas de ciencia y tecnología en Latinoamérica y en Colombia. ¿De cuál se trata?

CLAVE DE RESPUESTAS – AUTOEVALUACIÓN Nº 10

1. La industrialización de USA y de Japón.

2. El modelo proteccionista de la industrialización seguida por varias décadas en Latinoamérica y el modelo de industrialización exportadora de los países asiáticos.

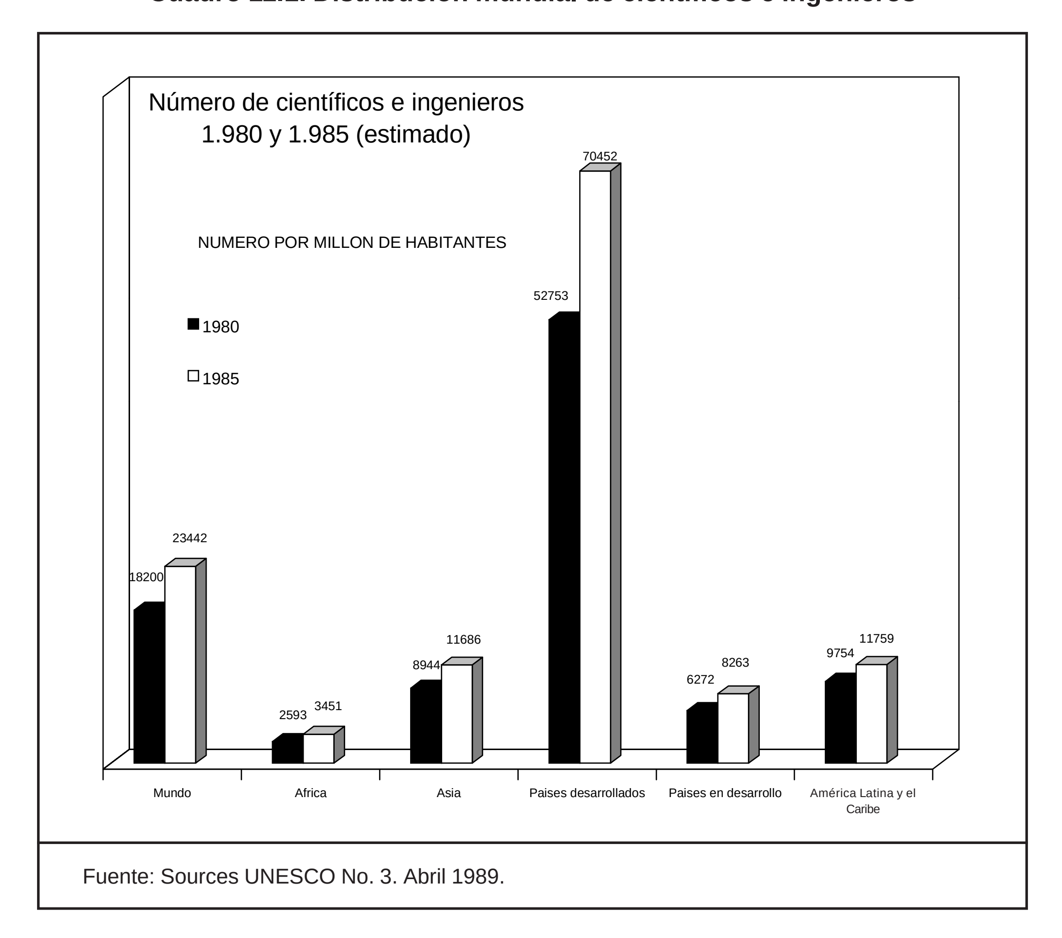
3. Un objetivo medular ha sido el de fortalecer la capacidad de investigación y la generación de conocimiento en los países.

11. LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL

11.1 La brecha creciente

Las cifras de recursos humanos dadas por la UNESCO no son muy alentadoras respecto al número de científicos e ingenieros del llamado Tercer Mundo, tal como se aprecia en la cuadro 11.1.

Cuadro 11.1. Distribución mundial de científicos e ingenieros



Fuente: Sources UNESCO No. 3. Abril 1989.

Nos complementa el tema de la concentración de la inversión en investigación y desarrollo en el ámbito mundial el cuadro 11.2.

Cuadro 11.2. La inversión mundial en I & D

DISTRIBUCIÓN DE LAS INVERSIONES INTERNACIONALES EN I & D			
Gastos de I & D	**1980**	**1985**	**1990**
Norte América	31.1%	42.6%	42.8%
Europa	33.9%	24.1%	23.2%
Asia (excepto países árabes)	13.5%	16.2%	19.6%
Ex Unión Soviética	15.5%	13.7%	12.3%
América Latina y el Caribe	1.8%	1.1%	0.6%
Países Árabes	1.8%	1.3%	0.7%
Oceanía	1.0%	0.8%	0.6%
África	0.40%	0.2%	0.2%

Fuente: Boletín de la Secretaría del Convenio Andrés Bello. 1992.

Basta dar una rápida ojeada a la distribución internacional de científicos para hacer aún mucho más evidente la concentración de recursos en ciertos grupos de países. En tal sentido resulta útil el cuadro 11.3.

Cuadro 11.3. Distribución porcentual de científicos e ingenieros en el mundo

CIENTÍFICOS E INGENIEROS EN I & D			
	1980	**1985**	**1990**
Norte América	17.6%	18.2%	17.8%
Europa	22.8%	21.3%	20.9%
Asia (excepto países árabes)	19.3%	20.9%	22.8%
Ex Unión Soviética	35.0%	33.9%	32.4%
América Latina y el Caribe	2.2%	2.8%	3.1%
Países Árabes	1.3%	1.4%	1.5%
Oceanía	1.0%	0.8%	0.8%
África	0.8%	0.7%	0.7%

Fuente: Boletín de la Secretaría del Convenio Andrés Bello. 1992.

Saltan a la vista las formidables brechas entre el norte y el sur en el cuadro anterior. Conviene citar intentos de carácter mundial para aliviar esta situación. Por ejemplo, en los años ochenta Naciones Unidas desplegó considerables esfuerzos en la estructuración de un nuevo *orden económico internacional*, basado en buena medida en la redistribución de las capacidades científico-tecnológicas. La llamada "Conferencia de Viena" se ocupó del tema a nivel global. Sin embargo, sus resultados fueron magros y dominó más la retórica.

Más que la cooperación, se ha acentuado la competencia económica desenfrenada entre naciones y el surgimiento de lo que el “grupo de Lisboa” llamó la “triadización”, en el marco de los procesos de globalización. La globalización actual está truncada. Por ello la “triadización” es una definición más adecuada de la presente situación y se la entiende como un hecho de integración tecnológica, económica y sociocultural entre las tres regiones más desarrolladas del mundo: Japón y los nuevos países industrializados del Sudeste Asiático, Europa Occidental y América del Norte. Es una tendencia más difundida, intensiva y significativa de lo que es la tendencia a la integración entre esas tres regiones y los países más pobres y menos desarrollados o que la tendencia a la integración entre estos últimos entre sí.

La “triadización” está también en la cabeza de las personas. Para los japoneses, norteamericanos y europeos, el mundo que cuenta es su mundo, el cual está centrado en el poder científico, el potencial y la supremacía tecnológica y en consecuencia en la superioridad de las capacidades para regular la economía y la sociedad mundial y para proyectar sus futuros. Baste decir que de los 4200 acuerdos de cooperación estratégica entre empresas en el período 1980 – 1989, 92% fueron establecidas entre empresas de Japón, Europa Occidental y América del Norte, en campos como las biotecnologías, los nuevos materiales, computadoras, microelectrónica, software, telecomunicaciones, máquinas automáticas, aviación, y algunos otros campos. Algo similar ocurre en inversiones y flujos monetarios.

En un mundo extremadamente competitivo apenas algunos poderosos resultarán vencedores y los vencidos serán excluidos y abandonados a su propia exclusión. Los vencedores permanecerán juntos y cada vez más integrados. Surge una nueva división del mundo coincidente con la globalización. La “desarticulación” se traduce en un proceso a través del cual en el mundo actual, algunos países y regiones, irán perdiendo sus conexiones con los países más desarrollados; en vez de ir hacia un mundo global, caminan en dirección opuesta. Esta desarticulación afecta a casi todos los países del África, a la mayor parte de América Latina y del Asia (con excepción de los países del Sudeste Asiático), así como a parte de la antigua Unión Soviética y Europa del Este.

Los datos son elocuentes, según el “grupo de Lisboa”: en 1980 la participación de los países más pobres en el comercio mundial de bienes manufacturados era de 7,9% de las exportaciones y de 9% de las importaciones. Diez años después estos valores bajaron a 1.4% y 4.9%, respectivamente. Inversamente, diez años después, el porcentaje de las tres regiones de la “tríada” creció de 54,8% a 64% de las exportaciones y de 59,5% a 63,8% de las exportaciones, todo ello en el ámbito mundial.

En otro nivel bien diferente se viene dando la circunstancia de que no aprovechamos nuestros propios recursos mediante un mayor valor agregado que debe darles la I & D. Es tal la poca conciencia existente en los medios directivos de nuestros países que incluso no tienen en cuenta la potencialidad de

nuestros recursos vegetales para usos alimenticios y nutricionales; por ejemplo, en los países andinos es precario el nivel de investigación sobre el mejoramiento genético y agronómico de sus propios cultivos autóctonos, y sucede en el concierto internacional que son los países más avanzados los que producen y exportan y compran tales productos. En un interesante trabajo de la Universidad Andina Simón Bolívar se llama la atención sobre dicha situación y se aprovecha la información publicada por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, la cual reproducimos en el cuadro 11.4.

Cuadro 11.4. Los cultivos andinos en los países industrializados

PRODUCTOS, PRODUCTORES Y MERCADOS DE CULTIVOS ANDINOS		
Producto	**Exportador**	**Mercado**
Ajipa	Dinamarca	USA
Oca	Nueva Zelandia	Japón-USA
Quina	USA-Escandinavia	USA
Tarwi	Sud África-Australia	Asia
Papaya	Nueva Zelandia	Europa
Lucuna	Australia-Nueva Zelandia	Asia
Pepino	Nueva Zelandia	USA
Arracacha	Puerto Rico	USA-Australia

Fuente: National Research Council. “Lost crops of the Incas: Little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation”. National Academy Press. Washington D.C. 1989.

11.2 Nuevas estrategias de cooperación internacional en el marco de la globalización

Es de inusitada importancia enfocar el futuro de la ciencia y la tecnología en los países en desarrollo desde una definición más a tono con la época, quiere decir, dentro de una óptica global. Hemos advertido en los párrafos anteriores los riesgos de exclusión y desarticulación de los países en desarrollo con respecto a tres polos: Europa, EEUU y Japón con algunos países asiáticos. La ciencia y la tecnología poco podrán hacer por el desarrollo de muchos países sin la vigencia de una estrategia de cooperación internacional integral y solidaria. Es oportuno mostrar algunas tendencias que coinciden en promover una convocatoria a crear formas de solidaridad internacional que alienten un tipo de cooperación global.

Múltiples fórmulas se vienen planteando para conseguir una globalización más armónica. Están inspiradas en la necesidad de conciliar la política, la economía y la justicia social por medio del establecimiento de reglas, procedi-

mientos e instituciones de gobierno que funcionen al mismo nivel de la economía global. El gobierno de los bienes comunes globales es su leit motiv. Se insiste permanentemente en la cooperación global para acelerar el desarrollo económico y tecnológico. De cierta manera estos objetivos riñen con la noción de una competitividad global generalizada.

Se abren paso importantes contribuciones en el sentido de crear “organizaciones responsables de los intereses comunes mundiales”, integradas por la sociedad civil global, representada por los individuos, principios, procesos e instituciones próximos a la variada familia de las Naciones Unidas. Los miembros de esta familia poseen ya cincuenta años de experiencia en actuaciones mundiales. Ésta es una base para impulsar regímenes más solidarios que el mundo radicalmente competitivo y excluyente de hoy, que se mueve cada vez más hacia una globalización de los más avanzados. Hay motivos para pensar, sin embargo, que se vienen reconociendo fuertes elementos de solidaridad. Veámoslos:

Han sido aceptados en los últimos años principios de interdependencia global y la urgencia de la cooperación global y de los esfuerzos concertados. La Comisión Brand sobre desarrollo, la Comisión Palmer sobre seguridad, la Comisión Brundtland sobre ambiente y desarrollo y la Comisión Sur de Nyerere han girado en torno de la necesidad de cooperación. El manifiesto de Al Gore, que propone un nuevo Plan Marshall Global, exigiría de las naciones ricas capital y transferencia de recursos tecnológicos amigables del ambiente. La negociación de acuerdos internacionales de tipo global sería una vía hacia la acción. Otro tipo de preocupaciones planteó el Instituto Económico del Japón con su documento “Hacia un nuevo diseño global”, en 1993, mediante una organización mundial con soberanía superior a sus países miembros, para manejar directamente cuestiones mundiales como energía y recursos no renovables, protección del ambiente, exploración del espacio y gestión de los océanos. Estas organizaciones funcionarían con fondos independientes mediante impuestos al petróleo o al CO_2, impuestos directos a los grupos con rendimientos más elevados y sobre empresas transnacionales.

11.3 Hacia mecanismos globales para la cooperación científica y tecnológica

El grupo de Lisboa propone desarrollar una red múltiple y pluralista, compuesta de agencias descentralizadas regionales y transnacionales, basada en formas efectivas de asociación entre países ricos y países pobres que actuarían como un fondo de inversiones de corto plazo y como un marco de desarrollo de largo plazo. Promoverían acuerdos globales o regionales, asociarían lo público y lo privado y funcionarían como equipos de tarea. Vincularían a fundaciones y asociaciones voluntarias.

En este contexto, una de las agencias descentralizadas debería ser **el consejo mundial para el conocimiento**.

Sus principales objetivos serían:

Primero, promover, a través de proyectos *ad hoc* y de la asociación pública y privada, la utilización del conocimiento y las tecnologías disponibles y su mejoramiento, de tal forma que:

– la capacidad local de innovación pueda ser valorizada;
– el know–how y los talentos locales puedan ser detectados para satisfacer las necesidades básicas, en un contexto de desarrollo constructivo Norte–Sur, más allá de las restricciones y exigencias habituales de los organismos tipo FMI, Banco Mundial o la OMC;
– la efectiva cooperación en la transferencia de conocimientos en la perspectiva Sur–Sur, pueda despegar con intensidad.

Segundo, el consejo mundial para el conocimiento tendría la función de apoyar los procesos de creación, desarrollo y aplicación de los nuevos conocimientos y tecnologías, a cargo de los científicos, tecnólogos y creativos de los países pobres.

11.4 La cooperación científica y tecnológica en los países latinoamericanos

Es fundamental para los países en desarrollo la mayor participación en la producción y en los flujos de conocimiento. Ya vimos esto en los nuevos modos de producción de conocimiento. Para obtener conocimiento hay que participar cada vez más en su generación. Para ello es vital la vinculación a redes internacionales.

Los países latinoamericanos han ensayado formas de cooperación científica y tecnológica a través de organizaciones intergubernamentales tales como la UNESCO y la OEA. Estas organizaciones contribuyeron a dar el primer impulso regional tendiente a institucionalizar las políticas nacionales de ciencia y tecnología en América Latina.

En ciertos casos floreció un tipo especial de cooperación regional por medio del apoyo del norte, como en el caso del IDRC del Canadá, que por años ha canalizado recursos hacia el desarrollo científico y tecnológico latinoamericano. En el plano subregional fueron interesantes los esfuerzos del Pacto Andino con ayuda de la entonces comunidad europea, partiendo de la formulación de una política tecnológica subregional. Existen algunos esfuerzos del convenio Andrés Bello. Los países iberoamericanos han venido participando en esquemas como las redes de cooperación conocidas como CYTED, entre España y los socios de las redes iberoamericanas, surgidos del V centenario del descubrimiento de América. Pero es preciso admitir que los esquemas y la voluntad de cooperación han venido languideciendo.

11.5 Las nuevas tareas de la cooperación científica y tecnológica

Encontramos útil repasar los recientes conceptos sobre la cooperación internacional, pues ésta se ha enriquecido en el marco europeo e iberoamericano. Jesús Sebastián ha hecho esfuerzos para sistematizar experiencias internacionales recientes y significativas en un documento preparado en el marco del Curso Iberoamericano para Administradores de Ciencia y Tecnología, organizado por la OEI.

El espectro de la cooperación se ha ampliado enormemente y en tal sentido debe estar en la agenda de las prioridades nacionales por múltiples razones. Son muchas las dimensiones sustantivas que abarca hoy y que la hacen mucho más relevante que ayer:

- Complementa las capacidades nacionales.
- Forma recursos humanos.
- Promueve nuevas actividades.
- Brinda acceso a la tecnología por medio de la planeación y ejecución conjunta de actividades tales como creación, difusión y transferencia. Ya vimos que participar en desarrollos internacionales conjuntos es una de las vías más promisorias de transferencia de conocimiento hoy en día.
- Mejora la calidad de la I&D porque se elevan los estándares y enseña gestión de la investigación porque permite conocer y contrastar modelos organizativos.
- Permea la internacionalización de la comunidad científica y las instituciones locales. Facilita la adquisición de valores, conceptos y métodos de trabajo.
- Le inyecta elementos de competitividad empresarial al país y articula internacionalmente el sistema nacional de innovación.
- Facilita la consecución de fondos adicionales.

Lo esencial de la cooperación científica internacional es que representa un conjunto de actividades que, a cualquier nivel, individual, institucional o nacional, y a través de múltiples instrumentos, implican una *asociación y colaboración para la consecución de objetivos comunes y un beneficio mutuo en el ámbito de la investigación científica.*

Resulta crucial hoy multiplicar los esfuerzos, capacidades y financiación individuales. Se impone trabajar con mayores escalas y "masas críticas". La frecuente balcanización de esfuerzos no permite conseguir objetivos y resultados con las velocidades requeridas. Se impone la lógica de las alianzas y de los proyectos conjuntos. Éste es el sentido de una adecuada gestión de la cooperación científica y tecnológica internacional en nuestros días.

Baste apelar a los indicadores de producción científica de Colombia y aún de toda Iberoamérica, para entender que sólo en la integración de esfuerzos radicaría la posibilidad de lograr mayores avances y masas críticas.

Los nuevos modos de producción del conocimiento, que discutimos en una sección anterior, subrayan la necesidad de complementación y de participación en equipos transdisciplinares. Más aún, la conveniencia de generar conocimiento en los contextos de aplicación para poder captar conocimientos que de otra suerte serían muy esquivos.

Es de agregar que uno de los indicadores que más ha crecido en los últimos años es el de las copublicaciones internacionales. Es creciente la asociación de científicos en equipos multinacionales a lo largo de los países industrializados.

La cooperación tecnológica busca compartir y complementar capacidades tecnológicas, desarrollar conjuntamente tecnologías, facilitar la difusión y la transferencia de tecnología, crear redes de innovación, crear sinergias, llegar más rápido a resultados precompetitivos y mejorar la competitividad de empresas y países. Hablando de manera muy actual, la cooperación internacional debe verse como uno de los insumos más importantes de los sistemas nacionales de innovación. En los últimos años se han multiplicado las opciones y modalidades de la cooperación tecnológica: desde el intercambio de información hasta la transferencia de conocimientos y licencias, hasta la participación en empresas conjuntas y en consorcios tecnológicos. Esto ocurre de manera visible en los países industrializados y sobre todo en la Unión Europea. Un ejemplo de experiencias en los países en desarrollo lo constituyen las llamadas EMAS (Empresas Multinacionales Andinas) que han venido emergiendo en el proceso de integración andina.

Un mecanismo de cooperación científica y tecnológica internacional de especial interés hoy –prácticamente una manera normal de trabajo para los investigadores– lo constituyen las redes de cooperación o, en inglés, el “networking”. Por ello nos detendremos un poco más en ellas en la próxima sección.

11.6 Las redes de cooperación: mecanismo de singular importancia

Las redes de cooperación se vienen convirtiendo en el instrumento por excelencia de la cooperación internacional, pues son las *incubadoras de la cooperación*, en virtud de varias funciones que deben observarse para lograr sus beneficios:

- Propician las interacciones científicas y tecnológicas.
- Permiten transferir conocimientos y tecnologías.
- Estimulan las actividades conjuntas de I&D.
- Capacitan recursos humanos y los especializan en nuevos campos.
- Internacionalizan las tareas de los asociados(individuos, grupos de I&D e instituciones).

Las redes de cooperación pueden estructurarse según los objetivos que persiguen. Pueden ser: temáticas, académicas, información/comunicación, investigación (laboratorios sin paredes), de innovación y de servicios tecnológicos.

Existe ya la suficiente experiencia para determinar –como lo llama Sebastián– reglas para el éxito de las redes de cooperación. Entre las más importantes están las de concretar muy bien la definición de los objetivos, seleccionar apropiadamente a los participantes, complementarse realmente en los intereses, una definición clara del reparto de tareas y acuerdo sobre la utilización de resultados. Algunos aspectos de gestión son claves. Se requieren consenso en el diseño de la red, aceptación del liderazgo y cogestión de la red y un esquema de cofinanciación claro y aceptado.

LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL
AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 11

1. ¿Qué ha hecho pensar que la globalización es un proceso que no favorece a los países en desarrollo?

2. Hay una dimensión especial en la que han coincidido los diversos informes sobre el desarrollo en el orden mundial actual. La coincidencia plantea urgentes cambios de enfoque en la cooperación internacional.

3. La cooperación en ciencia y tecnología ha visto progresos en ciertos mecanismos que merecen estudiarse y emplearse más en el futuro. Uno de ellos es el foco de la atención hoy porque resulta válido para la cooperación norte-norte, norte-sur y sur-sur.

CLAVE DE RESPUESTAS – AUTOEVALUACIÓN Nº 11

1. La participación de los países en desarrollo reducida en el comercio mundial. Su presencia es ínfima en los acuerdos de cooperación entre empresas, tecnológicos, financieros o de mercados.

2. La coincidencia mayor ha sido la interdependencia entre los países desarrollados y en desarrollo, lo que ha llevado a recomendar nuevos planteamientos de cooperación global.

3. El mecanismo „por excelencia" de la nueva cooperación es la creación y cultivo de las redes de cooperación, sobre las que se han visto nuevas formas de organización y gestión diferentes.

12. CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y DESARROLLO: NUEVAS INTERPRETACIONES

No podríamos terminar nuestra visión panorámica de los temas que afectan las relaciones entre la ciencia, la tecnología, el desarrollo y la sociedad, a finales del siglo XX, sin señalar al menos resumidamente algunas de las grandes tendencias internacionales en estas actividades. Deben mirarse los procesos de vinculación entre la ciencia y la tecnología con la sociedad como un campo de estudio de singular interés. Es allí donde se producen los mayores cambios en el alcance, en el significado y en la organización de la producción y la difusión del conocimiento.

Es visible la tendencia en las sociedades industrializadas a la producción de conocimiento consultando los intereses sociales, económicos y de mercado de manera más determinante. La generación de conocimiento se desplaza hacia el contexto de su aplicación e interactúa con otras instituciones sociales. Esto afecta la comunicación de la ciencia y la tecnología con la sociedad, la hace de dos vías.

Ciencia y tecnología vienen siendo cuestionadas por su contribución al bien público. Se viene abriendo paso la desmitificación de la ciencia y la tecnología. Ya no se las concibe como las fuentes exclusivas de donde mana el progreso infinito. Surgen los críticos que no justifican ya la ciencia por sí misma. A menos que ésta contribuya a satisfacer las necesidades humanas, en un contexto social, cultural y económico que le dé sentido, el mismo gasto de I&D en países como Estados Unidos es de validez cuestionable.

La controversia se hace presente para cuestionar el triunfalismo de la ciencia y la tecnología, buscando justamente hacer que la sociedad y sus instancias de control social señalen los caminos convenientes. Los frutos de la ciencia y la tecnología han sido amargos en más de una ocasión. Los estudios denominados de ciencia, tecnología y sociedad (CTS), han abierto un nuevo cauce desde las ciencias sociales para formalizar la controversia desde la ciencia misma.

Las siguientes secciones mostrarán este panorama a grandes rasgos, a manera de epílogo del presente documento, cuya principal preocupación ha sido la de interesar al lector en las relaciones entre la ciencia, la tecnología, el desarrollo y la sociedad.

12.1 La nueva producción de conocimiento

12.1.1 *Contraste entre el modo 1 y el modo 2*

Recientes trabajos en los países industrializados nos advierten sobre cambios profundos en la manera como se organiza la producción del conocimien-

to. Consideran que a las maneras consagradas de hacer ciencia y tecnología se les viene agregando una nueva dinámica. Michael Gibbons, liderando un grupo de reconocidos estudiosos, la denomina como el emergente “modo 2 de producción de conocimiento”. Es útil reseñarle al lector sus rasgos principales y motivar la posterior lectura de su ensayo. Nuestra síntesis consiste en contrastar los siguientes atributos de uno y otro modo:

En el modo 1 se plantean y se solucionan los problemas en un contexto gobernado en buena parte por académicos pertenecientes a una comunidad científica específica, en el marco de una disciplina particular. El contexto del *modo 1* se define alrededor de normas cognitivas y sociales que gobiernan la investigación básica o la ciencia académica. A última instancia, eso tiende a suponer una producción de conocimiento que se hace en ausencia de un objetivo práctico. Sus normas cognitivas y sociales determinarán que se considerarán problemas significativos. La disciplina es la piedra de toque para definir el problema.

En las primeras fases de las revoluciones científicas fue importante distinguir las formas de conocimiento científico del no científico. En las culturas occidentales, participar en la producción no científica equivale a excluirse a sí mismo de lo aceptable. El término científico ya implica una forma característica de producción de conocimiento. Su ideal es la física empírica y matemática newtoniana. Se da en el seno de universidades normalmente y en sus estructuras académicas como las facultades.

En el modo 2 el conocimiento es producido en el contexto de su aplicación, tiene la intención de ser útil para alguien, ya sea en la industria o en el gobierno, o más en general, para la sociedad, y ese imperativo está presente desde el principio. El contexto está configurado por un conjunto diverso de demandas intelectuales y sociales. Se produce bajo una negociación continua.

El modo 2 es transdisciplinar; quiere decir que la solución a un problema estará más allá de cualquier disciplina individual que contribuya a la misma. El conocimiento transdisciplinar desarrolla sus propias estructuras teóricas singulares, métodos de investigación y modos de práctica. Los resultados se comunican a quienes han participado en el curso de determinada producción. La difusión se logra en el proceso mismo de producción, entre los vinculados a la investigación, más que en revistas o conferencias. Es posible que el conocimiento producido no encaje fácilmente en ninguna de las disciplinas que contribuyeron a su solución ni será fácil referirlo a instituciones disciplinares concretas.

En su organización, la composición de un equipo dedicado a resolver un problema cambia con el tiempo. Esto no está coordinado por un cuerpo central. Se caracteriza por un aumento en el número de lugares potenciales en los que se puede crear el conocimiento; su producción ya no se hace sólo en

las universidades y facultades, sino también en los institutos universitarios, centros de investigación, instituciones gubernamentales, laboratorios empresariales, equipos de reflexión y asesorías así como en su propia interacción. Funciona a través de variedad de formas informales electrónicas, personales, etc. Los miembros pueden reunirse entonces en grupos diferentes, en los que intervienen personas diferentes, y lo hacen a menudo en lugares diferentes para abordar problemas diferentes.

En contra de lo que cabría esperar, trabajar en el contexto de la aplicación aumenta la sensibilidad de los científicos y tecnólogos sobre las implicaciones sociales, éticas, económicas de lo que están haciendo. Ello se debe a que las preguntas de investigación no se pueden contestar sólo en términos científicos y técnicos. *Para la solución de cierto tipo de problemas hay que tomar opciones y éstas afectarán los valores y preferencias de diferentes individuos y grupos que tradicionalmente se han considerado al margen del sistema científico y tecnológico.* Aumenta la reflexividad sobre valores implicados en las aspiraciones y proyectos humanos. Por lo tanto, aumenta una demanda de mayor participación de las ciencias sociales y humanas en el proceso.

Los criterios para valorar la calidad del trabajo y de los equipos que llevan a cabo la investigación en el modo 1 se hacen en torno de la ciencia disciplinar tradicional, y son determinados más por los juicios de revisión de los compañeros, o evaluación por pares.

Se trata de una revisión que orienta a los individuos para que trabajen sobre problemas considerados centrales en el progreso de la disciplina. En el modo 2 se añaden criterios adicionales de evaluación a través del contexto de aplicación: intereses intelectuales, sociales, económicos y políticos. La calidad viene determinada por un conjunto más amplio de criterios que refleja la amplia composición social del sistema de revisión. Preguntas como las siguientes moldean el proceso de evaluación: “Si se encuentra la solución, ¿será competitiva en el mercado?”, ¿será efectiva en cuanto a costos?, “¿será socialmente aceptable?”.

Una gran implicación de la aparición del modo 2 es la creación de nuevos desafíos para los gobiernos. Las instituciones nacionales necesitan ser descentralizadas (para hacerse más permeables). La efectividad de las capacidades de actuación de los gobiernos se mide ahora por la competitividad de sus sistemas nacionales de innovación. Las políticas deben ser más proactivas en la participación de la producción de conocimiento. Se requiere una especial habilidad para participar en la producción de conocimiento en cualquier parte del mundo y de ingenio para apropiarse de ese conocimiento e incluirlo en su sistema de innovación. Ese conocimiento no se puede comprar o vender o retirar de la estantería como otros bienes. Se genera cada vez más en el contexto del mercado mismo. Allí se configuran los recursos humanos. El conocimiento se produce mediante la configuración del capital humano.

Los países en desarrollo deben tomar nota de ello. Es evidente que les falta acceso por su baja capacidad. Podemos quedar excluidos de estos nuevos circuitos donde el factor personal juega un papel demasiado importante.

12.1.2 *Nuevos significados de la actividad científica y tecnológica*

Surgen fascinantes y nuevas claves para comprender el papel de la investigación básica y la aplicada, la ingeniería y la tecnología en el proceso de producción de conocimiento.

El modo 2 se caracteriza por un alejamiento de la búsqueda de principios fundamentales, para avanzar hacia modos de investigación orientados hacia resultados contextualizados. La investigación recupera el interés por estructuras *ordenadas y específicas*, antes que en la búsqueda de los primeros principios. Además, el propio proceso experimental viene guiado cada vez más por los principios de diseño, originalmente desarrollados en el contexto industrial. Empieza a ser posible invertir los procedimientos convencionales para fabricar ciertas sustancias, como las moléculas, los productos químicos y los materiales. Algunos materiales, por ejemplo, se pueden construir átomo a átomo, o molécula a molécula, mediante diseño, con el objeto de obtener un producto que tenga propiedades previamente especificadas. El producto y el proceso mediante el que se fabrican los nuevos materiales quedan integrados en el proceso de diseño, lo que supone una más estrecha integración del proceso de descubrimiento con el de fabricación.

Recuadro 12.1: *Dos casos de investigación en el modo 2*

– *El avión hipersónico*

Un ejemplo que pone Gibbons de las nuevas modalidades es el proyecto de construcción de un avión hipersónico que alcance velocidades de satélite, que despegue como un avión regular y regrese a la tierra una vez realizada su misión. Las velocidades hipersónicas como las deseadas, requieren un cambio de paradigma tecnológico. Las soluciones superan las fronteras actuales del conocimiento. Existe una gran dificultad en la ciencia actual para proporcionar modelos predictivos para el diseño. Ciertas leyes físico-químicas llegan a invertirse una vez que se pasa del dominio supersónico al hipersónico. Se necesita desarrollar conceptos diferentes para los distintos regímenes de velocidad. No se pueden usar analogías entre lo supersónico y lo hipersónico. La investigación debe superar la ausencia de datos científicos para las operaciones de medición, comprobación, control y ensayo.

Lo que interesa señalar aquí es que esta fase de investigación precede a la investigación básica y a la aplicada, y contienen una fuerte dimensión tecnológica. El nuevo contexto de aplicación, en torno del avión hipersónico, planteará nuevos problemas a científicos e ingenieros.

(Continúa...)

(Continuación)

– *La vacuna de Patarroyo*

Una analogía en nuestro medio de investigación en el contexto de la aplicación, con fuerte componente de diseño, y en la que no se parte de una secuencia lineal que va necesariamente de la ciencia básica al desarrollo, podría ser el del desarrollo de la vacuna de Patarroyo, que se caracteriza por un flujo constante, de un lado a otro, entre lo fundamental y lo aplicado, entre lo teórico y lo práctico, y que es más una construcción diseñada por un objetivo, el de conseguir la vacuna hasta fabricarla y donde ya no es relevante preguntar qué parte es básica o aplicada. Este proyecto es de naturaleza transdisciplinar hasta el punto que en ella intervienen el médico mismo, el inmunólogo, el bioquímico, el experto en sistemas.

La dificultad de la fabricación de la vacuna reside en que el parásito desde que se introduce al torrente sanguíneo está dotado y "dispuesto" para el ataque pues posee una misteriosa capacidad para evadir la respuesta inmunológica del organismo a través de variaciones antigénicas a medida que evoluciona en cada forma que adopta. Un diseño de la vacuna debería poseer antígenos específicos para cada una de las formas que el parásito adopta en su proceso de desarrollo, además de la variada y difícil complejidad de éstos. Esta definición de las características del problema permite formular el diseño de la vacuna, y es a nuestro juicio anterior a la investigación básica o aplicada como tales.

La contribución del grupo de científicos liderados por el Dr. Patarroyo fue identificar dentro del inmenso potencial de proteínas cuáles eran las que producían una respuesta inmunológica en cada una de las etapas: la de peso molecular 83kDa y la 35kDa. El otro golpe de ingenio de los científicos fue ensayar la combinación de péptidos. La síntesis del polímero que constituiría la vacuna fue una obra de ingeniería molecular. Construir una estructura que uniese la proteína de peso 83kDa con la de 35 y 55 kDa al colocarse la primera en medio de las segundas a través de dos péptidos del espororzoito. A este copolímero se le denominó Spf66.

12.1.3 *La comunicación entre ciencia y sociedad*

La posición tradicional entre los científicos y la sociedad era de una sola vía. Ellos eran los que poseían el conocimiento experto mientras que la mayoría de la sociedad aparecía como analfabetos que había que educar. Se trataba de un proceso de comunicación unilateral entre la ciencia y la sociedad en que un grupo popularizaba el conocimiento y lo difundía hacia los ignorantes en una sola dirección.

Sin embargo, ha aumentado en los países industrializados una mayor presión para justificar los gastos públicos en ciencia. También por los resultados mismos de la ciencia. Todo ello lleva a exigirle al científico una responsabilidad social y financiera mayor. La sociedad se manifiesta y a su vez transmite a los científicos sus preocupaciones e intereses, muchas veces para salvaguardar y preservar al ecosistema, a una comunidad, a unas instancias sociales.

Hasta el momento, los dominios más sensibles de discusión se han centrado en los riesgos tecnológicos de la energía nuclear y otras grandes instalaciones técnicas peligrosas, las preocupaciones medioambientales desde la capa de ozono hasta la biodiversidad y los temas éticos asociados a la ingeniería genética. Está en juego la duda de que todo lo que la investigación hace es beneficiosa para la sociedad. La difusión de la cultura universitaria en los países más avanzados, permite más permeabilidad en la comunicación entre sociedad y científicos, pues ya hay mucha más gente que posee una cultura en la I&D. Hay muchos otros lugares donde se genera el conocimiento y ello crea espacios nuevos de comunicación. Las organizaciones del gobierno y las asociaciones privadas proponen e inauguran nuevas formas de vinculación con la producción científica y las aplicaciones tecnológicas. En la misma Colombia hemos visto recientes debates intensos a propósito de la construcción de una represa, por sus implicaciones ecológicas y su impacto sobre especies nativas o a propósito de la exploración de petróleo en un territorio indígena. Mecanismos constitucionales como el derecho de tutela expresan un nuevo cauce de “defensa” de los ciudadanos ante la tecnología.

12.2 Las fronteras de la ilusión y el progreso indefinido de la ciencia y la tecnología

Así llamó Daniel Sarewitz, ex funcionario de la Oficina de Evaluación de Tecnología del Congreso de los Estados Unidos, a su libro crítico de la política científica en ese país. A riesgo de simplificar, puede decirse que esta perspectiva de análisis crítico del papel de la ciencia en el bienestar de la sociedad, nace de la duda en que la gran financiación de la I&D, históricamente justificada como una promisoria contribución al bienestar humano, esté logrando sus finalidades.

Es necesario pensar desde dos ángulos el efecto de la tecnología en la sociedad y en el ambiente. Las revoluciones de base científica en áreas como la tecnología de información y de comunicación, en agricultura, materiales, tecnología médica y biotecnología, a pesar de su contribución, están acompañadas, sin embargo, por la proliferación de armas globales, el crecimiento explosivo de la población, la concentración de riqueza, la declinación de la biodiversidad y la pérdida sin precedentes del hábitat, el deterioro de las tierras arables, la destrucción del ozono estratosférico, y el riesgo potencial de cambios en el clima terrestre. Podemos añadir el desempleo creciente derivado de la automatización de la producción. Estas tendencias constituyen una paradoja y a la vez un contrapunto de la cultura moderna.

En la perspectiva de Sarewitz la política de apoyo a la I&D de los Estados Unidos, debe partir en última instancia de la creación de beneficios sociales. Debe revisarse y mirarse con suma cautela la afirmación común de que existe causalidad entre el progreso en el laboratorio y el progreso en la sociedad, pues es un argumento político no comprobado e invocado por los investigadores para mantener el apoyo público a sus trabajos. Tales argumentos han sido

hasta ahora la base para construir el sistema de investigación y han sido el eje de la política científica y tecnológica de Estados Unidos. Este país asignó en 1995 la suma de $73 billones a programas de I&D, de los cuales, no obstante, 54% fueron a parar a proyectos militares, lo cual muestra su alejamiento de las necesidades de los ciudadanos.

Por un lado están los laboratorios, por el otro los seres humanos afuera. En el laboratorio se producen resultados que permiten obtener en un momento dado más rendimiento a la materia y a la energía. Nadie anticipó el efecto enorme de la televisión en la cultura global a partir de un tubo de rayos catódicos modificados. O del teléfono, que en sus comienzos se miraba simplemente como un reemplazo del telégrafo, usado sólo para una comunicación punto a punto. O las computadoras, destinadas para un estrecho rango de operaciones y de cálculos. El poder nuclear estaba llamado a ser el milagro que proporcionaría energía al mundo a costos casi virtuales. En realidad, es necesario pensar más en los efectos sociales de la tecnología para trazar políticas de ciencia y tecnología.

La justificación política efectiva para el apoyo a la I&D gubernamental está basado primordialmente en la promesa de mayores beneficios sociales. Pero las consecuencias sociales del progreso científico y tecnológico no son inherentes a las leyes naturales que los investigadores buscan descubrir y explotar. Las leyes de la naturaleza por sí mismas no conducen al bien público, que puede ser solamente creado cuando el conocimiento y la innovación desde el laboratorio interactúan con las instituciones culturales, económicas y políticas de la sociedad. La política científica y tecnológica de los Estados Unidos se ha fundado en un acto de fe: que la transición entre el mundo controlado, independiente, idealizado y libre de contexto del laboratorio, hasta el mundo intrincado y lleno de contexto de la sociedad, creará por sí solo el beneficio social.

La política científica se basa en varios mitos –verdades no probadas, no derivadas de una teoría ni de constataciones empíricas–, ampliamente repetidos y suscritos. En gracia de la brevedad, nos detendremos en el *mito del beneficio infinito,* o sea, que más ciencia y más tecnología conducen a mayor bien público. El mito se origina en un famoso documento, "ciencia, la frontera sin fin", escrito en 1945 por Vanevar Bush, director de la Oficina de Ciencia y Tecnología bajo los Presidentes Roosevelt y Truman: "Los avances en la ciencia cuando son puestos en práctica representan más empleos, salarios más altos, menos tiempo de trabajo, más abundantes cosechas, más ocio para la recreación, para el estudio, etc.", "pero para lograr esos objetivos... el flujo de nuevo conocimiento científico debe ser continuo y sustancial".

Sarewitz contradice este argumento. A partir de los años sesenta los americanos han trabajado más horas, su tiempo libre ha disminuido, la concentración de la riqueza se ha incrementado, es mayor el porcentaje de empleos que requieren más baja calificación y menos paga, las tasas de desempleo han sido relativamente mayores y los indicadores de bienestar social en ge-

neral han declinado. El sector de la salud niega, según Sarewitz, el argumento de V. Bush. Pese a ser el sector de I&D que más ha crecido en USA, el sistema de salud presenta costos extremos debidos en parte a las nuevas tecnologías y al costo de las drogas, se ha encarecido la atención médica que se ha vuelto un privilegio de los que pueden pagarla. Al tiempo, Estados Unidos, que invierte 10 veces más en I&D en salud, que Japón y Alemania, está por debajo de ellos y de otros países en algunos indicadores claves de salud como ocupar el puesto 17 en mortalidad fetoinfantil, el 19 en mortalidad materna, el 18 en expectativa de vida.

12.3 Ciencia y tecnología en el contexto social

12.3.1 *La controversia y la evaluación de impactos de la tecnología*

Uno de los más autorizados estudiosos de las relaciones entre “ciencia, tecnología y sociedad” en el ámbito iberoamericano, José Antonio López Cerezo, catedrático de la Universidad de Oviedo, expresa: “La ciencia ha perdido la imagen de certidumbre que deslumbró a generaciones desde la revolución industrial. La tecnología ha perdido también el carácter benefactor, el sentido de progreso incondicional que la ha distinguido desde los tiempos de la extensión del ferrocarril”. Desde hace tres décadas asistimos a una profunda revisión de la imagen tradicional de la ciencia y la tecnología y del papel de éstas en la sociedad actual. Lejos están los tiempos del “triunfalismo científico”.

El debate aumenta en torno de la capa de ozono, las causa del cáncer, las radiaciones ionizantes, la fluorización del agua potable o la gestión de residuos petrolíferos. No es la opinión especializada el punto final de la polémica. Los grupos sociales se rodean de sus propios expertos.

Libros como “la primavera silenciosa”, de Rachel Carlson, en torno a los pesticidas han marcado época. Los desastres como Chernobyl, los grandes derrames de petróleo, han sido un acicate en la conciencia pública y han generado protestas y resistencia social enormes. La emergencia y el éxito de los partidos verdes en Europa son una demostración tácita de la revisión de los efectos inconvenientes de la ciencia y la tecnología en la sociedad.

Es evidente la revisión de las políticas científico–tecnológicas a la luz de la participación pública en los países occidentales. La creación en 1966 de la Oficina de Evaluación de Tecnología (OTA) y de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en los Estados Unidos, así como de otras similares en el campo de la salud y la seguridad ocupacional, marcan una etapa en que se exige monitoreo público a la tecnología. En el caso de la OTA el Congreso quería no sólo el monitoreo sino fortalecer su posición frente al poder ejecutivo. La idea que presidió a estas organizaciones es que los impactos y riesgos podían determinarse de manera clara. Este fue un primer paso, impensable ciertamente antes de la segunda guerra mundial.

Pero el asunto ha ido mucho más lejos, pues la sensibilidad social sobre el tema ha trascendido los límites de estos procesos. Se trata de profundizar en la democratización a través de la participación pública, el reconocimiento de la pluralidad axiológica, y la institucionalización del *discurso constructivo,* que enseguida veremos.

El concepto de evaluación de tecnologías ha venido cambiando y reproduciéndose en Europa. En Amsterdam se celebró en 1987 el Primer Congreso Europeo sobre el tema, convocado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Holanda y por el Programa FAST de la Unión Europea(“Forecasting and Assesment of Science and Technology”). En este congreso se propuso la “evaluación constructiva de tecnologías”: la evaluación y valoración de tecnologías no debería ocuparse exclusivamente de los aspectos externos (efectos o impactos) sino, fundamentalmente, del desarrollo interno de la ciencia y la tecnología, considerado como *un proceso continuo en el que se generan elecciones condicionadas por factores sociales, económicos, técnicos, científicos o políticos.*

En la *evaluación constructiva* de tecnologías los riesgos e impactos se refieren más a la forma como los actores sociales relevantes los interpretan. Esto significa la participación de los actores sociales en la toma de decisiones sobre políticas de ciencia y tecnología. Tres funciones fundamentales debe llevar a cabo la evaluación constructiva:

1. Evaluar los posibles impactos según los distintos grupos sociales relevantes;
2. Acordar las posibles soluciones, tanto técnicas como organizativas, a los aspectos problemáticos de la tecnología en cuestión; y
3. Proporcionar procedimientos para conseguir una rotroalimentación óptima entre las diferentes interpretaciones sociales y el diseño de la tecnología.

12.3.2 *Ciencia y tecnología del lado de la sociedad*

La revisión que se ha venido haciendo en los países industrializados trasciende, sin embargo, el puro ámbito político gubernamental, pues también la educación de la ciencia y la tecnología se concibe para fomentar ciudadanos responsables y conscientes.

Se trata de una renegociación de las relaciones ciencia – sociedad que ha tenido un considerable impacto en el mundo académico, desde donde se ha fraguado una nueva imagen de la ciencia y la tecnología por medio de un movimiento conocido como “Ciencia, Tecnología y Sociedad” (CTS). Durante la década de los setenta la Universidad de Edimburgo, Harry Barnes y David Bloor, proponen y desarrollan una nueva sociología del conocimiento, basados en la obra de T.S. Kuhn.

En esta nueva imagen, la ciencia pierde su autonomía cultural, deja de verse como búsqueda de la verdad por aplicación de un método objetivo y pasa a ser concebida básicamente como un producto de sus circunstancias históricas y culturales, como un resultado de la lucha de intereses entre clases y grupos sociales heterogéneos.

Intereses y valores son ahora las palabras claves para explicar la formación de las creencias científicas, cuando antes habían sido la *evidencia experimental* y la *racionalidad*.

El estudio de la tecnología en los países industrializados ha representado un viraje en las ciencias económicas. Múltiples estudios se han enfocado al cambio técnico y la innovación. Otro factor que influyó en los estudios de ciencia y tecnología fue la crítica al modelo lineal. Durante los años cincuenta y sesenta la formulación de políticas científicas y tecnológicas estaba basada en el llamado *modelo lineal,* tratado en otra sección. Según este modelo, la investigación básica condiciona de manera decisiva las oportunidades para lograr la innovación tecnológica que, a su vez, determina el incremento del bienestar humano. En este enfoque el Estado implanta las políticas científico–tecnológicas, y apoya la investigación básica que el solo mercado no asegura. Sin embargo, este enfoque ha sido revisado y cuestionado. Se nota el acercamiento del mercado y de las necesidades sociales en los nuevos modelos. De cierta manera, gana la sociedad desde el momento que transmite información al laboratorio sobre el mercado.

Como se mostró antes, los movimientos sociales emergentes de los años sesenta consiguen introducir objetivos sociales, políticos y de protección del entorno en la agenda de las políticas científico–tecnológicas de los países occidentales. De nuevo, es la sociedad la que penetra en el ámbito de la ciencia.

Por el lado latinoamericano se abre paso en los años 70 una variedad considerable de estudios sobre temas tecno–económicos con patrocinio de la OEA y el IDRC, que permiten entender mejor la dependencia tecnológica y cultural de la región, la transferencia internacional de tecnología y sus efectos en la economía de los países latinoamericanos, la relación entre tecnología e inversión extranjera, el sistema internacional de patentes y su funcionamiento en los países en desarrollo, el estilo de industrialización y su relación con el desarrollo tecnológico, los mecanismos e instrumentos de las políticas de ciencia y tecnología.

Estas tradiciones empalman a fines de los ochenta y a lo largo de los noventa con la preocupación de gestionar y administrar la I&D y la transferencia de tecnología de manera más estratégica, dando lugar a una rica variedad de seminarios y cursos en que se extiende un concepto de ciencia y tecnología más cercano a las necesidades del aparato productivo. En el fondo, subyace a esta corriente el interés de crear fuertes nexos entre la ciencia y la tecnología con la sociedad y la poducción. Se trata, justamente, de llenar un vacío

histórico y motivar a las empresas a utilizar mucho más las capacidades locales. Esta es una manera de hacer que la ciencia y la tecnología circulen y se integren en la sociedad. No en vano ha sido en Brasil, en la Universidad de Sao Pablo, donde tomó cuerpo la investigación y la docencia del tema inicialmente, por tratarse de un caso de desarrollo nacional centrado en la industrialización acelerada y con un concepto estratégico más agudo del poder de la Ciencia y la Tecnología en la formación de un país moderno.

Es digna de mención la Conferencia Intergubernamental de ciencia y tecnología aplicadas al desarrollo (CACTAL) que tiene lugar en Brasilia en 1972, en el marco de la OEA, donde surgen sorprendente diversidad de líneas de planificación y gestión de la ciencia y la tecnología, con miras a modificar las condiciones del desarrollo latinoamericano.

CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y DESARROLLO: NUEVAS INTERPRETACIONES AUTOEVALUACIÓN DE LA SECCIÓN Nº 12

1. Los estudiosos nos advierten que el modo de producción de ciencia viene cambiando en los últimos años, sobre todo en los países industrializados, y que se abre paso otra dinámica que es preciso comenzar a tener en cuenta en los gobiernos. ¿Hacia dónde apuntan esos cambios?

2. Redacta en pocas palabras una crítica a las políticas científicas de corte tradicional, que se plantean el fomento y el apoyo a la ciencia por la ciencia, bajo el supuesto de que su propia dinámica interna y autónoma conducirá a cosechar los frutos que compensarán con creces la inversión pública puesta en ella.

3. Se detectan fuertes corrientes en la sociología de la ciencia que se han alejado de la visión más clásica en que el desarrollo de la ciencia se concebía como un proceso autónomo de desarrollo. Ha surgido entonces una visión alternativa que pesa e influye significativamente en Europa y en los Estados Unidos. Descríbala brevemente.

CLAVE DE RESPUESTAS – AUTOEVALUACIÓN Nº 12

1. La producción de ciencia es mucho más transdisciplinaria, centrada en problemas más que en disciplinas particulares, se da en el contexto de sus aplicaciones y se le exige más aceptación social.

2. La crítica muestra la falta de correlación entre muchas y cuantiosas inversiones en investigación y sus beneficios sociales. Por ello, una pregunta básica hoy en la financiación política de la investigación es la de analizar su pertinencia social.

3. Las nuevas escuelas, a partir de la Universidad de Edimburgo, conciben la ciencia como un producto de sus circunstancias históricas y culturales y como un resultado de la lucha de intereses, clases y grupos sociales heterogéneos.

Serie
APRENDER A INVESTIGAR

ANEXO

Módulo 1

Instructivo para el uso del video

ESTELA URIBE VÉLEZ

1. Uso didáctico del video
2. Video: *Ciencia y tecnología: Desarrollo del hombre*

1. USO DIDÁCTICO DEL VIDEO

En este documento queremos mostrar la importancia que tiene la utilización de **video** en las aulas de clase, sus ventajas y desventajas en las actividades académicas. Así mismo, que es responsabilidad del profesor el buen uso que de éste se haga para facilitarle el proceso enseñanza-aprendizaje.

El video es un sistema de almacenamiento de imágenes y sonidos que utiliza los mismos fundamentos técnicos que la televisión y que nació para cubrir las necesidades que las programadoras de T.V. tenían para almacenar sus programas y librarse de la esclavitud de la emisión en directo. Su aparición revolucionó la tecnología televisiva, que hasta el momento se reducía a la transmisión de sucesos en directo, de forma irrepetible. El video configuró una nueva televisión donde el programa elaborado por montaje, el diferido, las repeticiones y los intercambios de programas, enriquecen la producción televisiva.

La mayor ventaja que tiene el video con respecto al resto de los audiovisuales, desde el punto de vista didáctico, es la posibilidad de una **presentación flexible** y un **fed-back inmediato.**

Una de las funciones que debe cumplir el video en el aula es la de ser un facilitador para el proceso enseñanza-aprendizaje.

El docente debe reflexionar sobre la realidad educativa concreta y, como consecuencia de ello, descubrir cuáles son sus necesidades reales con relación al **video** como medio concreto, fruto del desarrollo de las nuevas tecnologías de la comunicación y su aplicación en la enseñanza.

El video como medio didáctico

La forma más frecuente de esta utilización consiste en el trabajo con el grupo/aula –la situación de enseñanza masiva–, en la que el monitor sustituye el discurso del profesor. Generalmente se recurre a este medio para motivar/introducir un tema, aunque para algunos temas y/o disciplinas –generalmente aquellas centradas en la explicación de procesos, etc.– el video introduce algunos momentos didácticos.

El video puede cumplir diferentes funciones dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje; entre ellas tenemos:

Función motivadora

El video, como todos los medios basados en lenguajes visuales, es particularmente apto para transmitir emociones, sensaciones, afectos, que a menudo las palabras no logran expresar con la misma precisión, ya que la imagen, por su misma naturaleza, comunica de manera inmediata, más rápida y

emotiva que la palabra. En este sentido, además de implicar al alumno en la información videográfica, pueden desarrollarse y afirmarse actitudes, estimular la imaginación, la fantasía...

Básicamente se trata de utilizar el video para captar la atención y, a su vez, dar una primera idea, muy general sobre el tema. El tipo de programas que podemos emplear puede proceder de emisiones de televisión comercial, de películas, de actividades realizadas en el propio centro, entre otras. Su grado de elaboración desde el punto de vista educativo puede ser muy elemental, ya que lo fundamental de esto reside en lo que tiene de actualidad o de interés para el alumno. El profesor es quien puede decidir qué tipo de contenidos son los adecuados, en cada caso concreto, para el desarrollo de esta función. El material puede tener los orígenes más diversos.

Función presentadora/introductoria

La presentación del contenido del tema, bien en su totalidad, bien en una parte del mismo, puede ser otra de las funciones del video en el aula. Esta utilización es sensiblemente diferente a la anterior y no se puede entender ni tiene sentido de forma aislada.

El desarrollar un tema en el aula por medio del video debe tener dos acciones previas:

1. Adecuar el programa a la situación concreta de clase.

2. Desarrollar los materiales que van a permitir la comprensión y el desarrollo del mismo, el video por sí solo tiene problemas para, de una forma adecuada, dar una información a un grupo de alumnos. La velocidad de la narración puede ser, entre otros, uno de los problemas que se pueden presentar. Para suplir algunos de estos problemas se hace indispensable que el profesor prepare por lo menos dos tipos de materiales complementarios a esta presentación como son:

   – Materiales de ampliación del contenido del video. Estos deben permitir que el alumno vea la importancia del tema que el video ha mostrado y cómo desarrollar aquellos aspectos tratados en el video que puedan tener un interés relevante. Deben ser fundamentalmente documentos, referencias bibliográficas, etc., que el profesor debe preparar para cada video.

   – Materiales de observación o evaluación del video. Deben ser como guías de observación del problema, en el que se destacan aquellos aspectos del mismo que tienen un mayor interés y que deben ser observados con más atención. Tienen una doble función: destacar los puntos fundamentales y evaluar los contenidos por el alumno. Estas guías contienen una

serie de cuestiones que se han de responder con la información que facilita el programa visionado. No se trata exclusivamente de preguntas y respuestas en el sentido más tradicional. Pueden ser esquemas para completar, mapas a complementar, gráficas, etc.

Un uso complementario de todo lo anterior va a permitir al estudiante no sólo la utilización de cualquier guía, sino también la manipulación de los programas de video utilizados en clase, de tal forma que pueda crear con ellos su propio programa, bien con intención de completar el aprendizaje o bien con una intención evaluadora.

Función informativa

Está directamente relacionada con la adquisición de conocimientos y con la relación que se establece entre las nuevas informaciones que se reciben y las ideas que ya se poseen, desarrollando nuevos conceptos y conocimientos. El video actúa de mediatizador desde el momento que se trata de una observación indirecta. Esta observación no puede limitar el estudio a lo que el entorno le ofrece visualmente, sino que se ocupará de cosas que no pueden ser observadas directamente, bien por problemas especiales –no se puede acceder–, bien por problemas temporales –acontecimientos que pueden apreciarse con la concentración o dilatación del tiempo–, lugares inaccesibles para la visión humana, o por tratarse de una conexión con otras tecnologías –telescopios, microscopios–, o de acceso difícil, costoso o peligroso.

Función instructiva

El video, además de motivar y transmitir información, ha de servir para proporcionar instrumentos tendientes a la organización del conocimiento y al desarrollo de destrezas. Las destrezas, las actitudes de base conseguidas, pueden transferirse a otros ámbitos del conocimiento, de la cultura o de las situaciones vitales a través de principios.

La aplicación de estos principios a la utilización didáctica se centra, fundamentalmente, en la intervención del profesor en la transmisión del mensaje –especialmente, en el modo de presentación–, de tal forma que lo haga más dinámico y activo. Esta intervención requiere un conocimiento de las implicaciones que el modo de presentación de un material tiene en el alumno, la posibilidad de flexibilizar la utilización de los materiales a fin de adecuarlos al mayor abanico de necesidades y condiciones y, por último, requiere también la integración del medio en el contexto.

Estos principios son:

a. El modo de presentación: La eficacia del mensaje depende tanto del contenido como de su presentación.

b. Flexibilidad de utilización: La flexibilidad supone para el profesor el tratamiento de dicho mensaje desde enfoques diversos:

   a. La audiencia: Debe conocer muy bien a su audiencia y tener claras sus necesidades.

   b. Contemplar la necesidad de utilización en situaciones didácticas que no sean solamente grupales.

   c. Utilización integrada en el contexto educativo: El profesor debe presentar contenidos que se integren en el medio afectivo, social y cultural del alumno destinatario.

Función de recapitulador

Este es otro posible uso del video en la situación interactiva de clase, el empleo de las secuencias más significativas del tema expuesto, dándole un tratamiento diferente, más ágil, más breve, puede permitir que todo el tema se resuma en unos pocos minutos, de manera que quede claro cuáles son las ideas y los conceptos fundamentales del mismo.

Las funciones anteriores van interrelacionadas y le corresponde al profesor desarrollarlas de tal forma que se adecuen a sus propósitos; por lo tanto el profesor debe, con anterioridad a la utilización del video en el aula, visionar repetidamente el mismo, analizarlo y decidir cuáles son los puntos esenciales del tema, desarrollando seguidamente los materiales complementarios para los estudiantes.

El video como medio de expresión y de comunicación

Si concebimos el video como un medio que une la comunicación didáctica, es obvio que, además de transmitir información externa –más o menos modificada o manipulada por el profesor–, debe servir de medio de expresión de las propias ideas y experiencias para los protagonistas del proceso enseñanza-aprendizaje –profesor y alumnos–.

El video, por su propia naturaleza, resulta un medio apropiado en una comunicación bidireccional –multidireccional– en el aula. Su desarrollo como tal, exige, no obstante, un cambio radical en algunas concepciones ancladas en el sistema educativo y, especialmente, aquellas relacionadas con la facultad y la libertad para comunicar.

Es necesaria la participación libre y consciente por parte del alumno en el proceso comunicativo.

La simplicidad técnica de manejo y los bajos costos de este medio, hacen posible lo que con el cine era más complicado. La enseñanza de la imagen es hoy factible en su doble vertiente, para contemplarla y para usarla como medio de expresión. Conocer los criterios y principios que están detrás de un mensaje verboicónico nos permite dos tipos de acciones:

– Primero. Facilitar la decodificación completa de los programas que nos llegan por los medios de comunicación de masas, fundamentalmente la televisión.

– Segundo. Permite utilizar un nuevo medio de expresión de forma correcta, de manera que podamos decir lo que deseamos y que nuestro mensaje sea decodificado de acuerdo con nuestra intención.

En relación con esto último debemos recordar que el video es un medio de comunicación, y por lo tanto reúne las condiciones necesarias para poder establecer por medio de él un proceso de comunicación fundamentalmente grupal y en menor medida personal.

El video como medio de investigación

El video reúne unas condiciones que le hacen ser un buen auxiliar para la investigación, tanto para los estudiosos de la educación, profesores, investigadores, etc., como para los propios alumnos. Por lo que respecta a los primeros, el video permite la grabación de distintos tipos de situaciones que tengan que ver con la enseñanza y que, posteriormente, se pueda estudiar al ritmo que se desee. Reuniones de grupos de trabajo, situaciones de clase, entrevistas, etc., son algunas de las ocasiones en las que el video puede aportar la posibilidad de observar aspectos que, de otra manera, pueden pasar inadvertidos.

En el caso de los alumnos que también es extensible a cualquier tipo de investigaciones, el video puede proporcionar el soporte ideal para la observación del desarrollo de procesos de tipo físico, etc., archivo documental, realización de informes y un buen número más de posibilidades que prácticamente está limitado solamente por la imaginación y creatividad de los usuarios.

Otros usos del video

Evidentemente, existen otros usos del video en el aula, entre los cuales podemos destacar su utilización como medio de entretenimiento, o como recursos para la formación permanente del profesorado, para la comunicación universidad-padres, como medio de investigación, entre otros.

Desde este punto de vista, los usos que resultan básicos para los profesores pueden ser:

a. En la formación del profesorado, actuando como instrumento de análisis en diversas técnicas, como microenseñanza, y también en la familiarización de los profesores respecto a dicho medio.

b. En la investigación didáctica, como instrumento de análisis de las interacciones profesor-alumno, de las conductas de los alumnos, de la actuación de los profesores... También constituye un campo de investigación en este terreno la investigación sobre diseño y elaboración de materiales didácticos en video.

Todos los posibles usos descritos casi nunca podremos aislarlos totalmente en la práctica educativa; así por ejemplo, la formación del profesorado no puede desligarse del componente de medio de investigación que el video desarrolla.

Ventajas del video como ayuda didáctica

- Permite mostrar situaciones históricas, presentes y futuras.
- Se pueden repetir acciones.
- Se pueden integrar imagen, color y sonido.
- Permite adecuar parte de un tema en imágenes que se puedan proyectar.
- Mantiene la atención del estudiante, si el tema es motivador.
- Posibilita la reflexión en grupo sobre el tema proyectado.
- Se pueden realizar análisis parciales sobre el tema, suspendiendo la proyección cada vez que el profesor o el estudiante lo consideren necesario.
- Permite la interactividad en clase.
- Puede ser visto en grupos o individualmente.
- No requiere oscuridad para su presentación.

Desventajas del video como ayuda didáctica

- Sólo se debe presentar una idea del tema que se va a tratar.
- El desarrollo del tema puede ser muy rápido y no se capta fácilmente.
- Si el tema es largo y monótono permite que los estudiantes se distraigan.
- Propicia los comentarios durante la proyección, lo que puede distraer a los asistentes.
- Si el tema no está bien tratado permite el adormilamiento entre los asistentes.

Errores más comunes cuando se presenta un video

- No conocer el tema del video con anterioridad a la presentación.
- Desconocer su estado físico (imagen rayada, mal sonido, baches...).
- Pretender que un video por sí solo sea didáctico.
- No preguntar a su audiencia si lo ha visto.
- No hacerle una introducción antes de su presentación.
- No analizar al final de la presentación una evaluación o conclusiones sobre el tema.
- Presentar videos muy largos sin hacer pausas para reflexionar sobre el tema o hacer declaraciones sobre el mismo.
- No adecuar el aula para su presentación.
- Apagar la luz cuando se utiliza un monitor de T.V.
- Utilizar un monitor de T.V. pequeño para una audiencia muy grande.
- Desconocer el funcionamiento de los equipos: T.V., VHS o Betamax.

Algunas recomendaciones para utilizar el video con fines didácticos

QUÉ NO HACER	QUÉ HACER
1. Seleccionar todo el video sólo por el título.	1. Ver el contenido del video y analizarlo para ver si es apropiado al tema que queremos complementar.
2. Presentar un video sin conocer su contenido y su estado físico, sonido, imagen.	2. Revisar muy bien el material seleccionado antes de presentarlo.
3. Proyectar un video sin hacer antes una presentación del tema.	3. Hacer una presentación del tema y explicar qué se pretende con el video.
4. Presentar un video sin preguntar a los participantes si ya conocen su contenido.	4. Debemos interrogar a los participantes si ya conocen el video, para no repetirlo o hacer otro enfoque sobre el mismo.
5. Presentar videos muy largos sin hacer una pausa.	5. Hacer una pausa para evitar la fatiga, hacer preguntas o aclaraciones sobre el tema si es del caso.

6. Presentar videos en idiomas extranjeros,
7. Seleccionar el video como único medio de apoyo a un curso.
8. Utilizar un monitor de T.V. pequeño para audiencias numerosas.
9. Oscurecer el aula cuando se está utilizando un monitor de T.V.
10. Terminar la presentación sin hacer conclusiones o preguntas sobre el video.

6. Debemos preguntar si el idioma del video es comprensible para todos.
7. Debemos combinar medios en nuestros cursos.
8. Seleccionar el tamaño del monitor de T.V. de acuerdo con el número de la audiencia.
9. Se debe dejar la luz prendida, esto permite observar la reacción de la audiencia ante el video.
10. Al terminar de ver un video se deben hacer preguntas, aclaraciones, verificar si se cumplió el objetivo propuesto.

Bibliografía

MARTÍNEZ SÁNCHEZ, Francisco. *La educación ante las nuevas tecnologías de la Educación: Configuración de los videos didácticos*. Anales de la Pedagogía Nº 8, 1990, págs. 159-180.

COLOM CAÑELLAS, Antonio J., SUREDA NEGRE, Jaume, SALINAS IBÁÑEZ, Jesús. *Tecnologías y medios didácticos*. De Cincel S.A., Madrid, 1988.

2. VIDEOS

2.1 VIDEO «CIENCIA Y TECNOLOGÍA: DESARROLLO DEL HOMBRE»

Introducción

El propósito de este video es darle a usted como estudiante **una rápida visión de cómo la ciencia, la tecnología y la investigación, son actividades de carácter histórico, que han evolucionado con el desarrollo del hombre y de la sociedad.**

El material audiovisual cumple la función de ***complemento o refuerzo*** al material escrito, está concebido como un material autoinstructivo elaborado con imágenes sencillas y de una forma coloquial.

La información consignada en cada una de los videos es *autosuficiente,* es decir, que en forma independiente comunica una información *completa* sobre un determinado tema. Sin embargo, no debe perder de vista que cada uno de ellos es parte integrante de una unidad global que es todo el curso.

Para complementar **el Módulo 1, Ciencia, tecnología y desarrollo,** se ha elaborado el video **«Ciencia y tecnología: Desarrollo del hombre»,** el cual le dará una visión panorámica y al mismo tiempo será un complemento al tema que usted ha estudiado.

Recomendaciones

Antes de ver este video que tiene una duración de 15 minutos, le recomendamos haber estudiado el **Módulo 1,** y adquirido los conceptos de **Ciencia, tecnología y desarrollo.** Recuerde que el video es una ayuda complementaria que pretende reforzar el contenido que usted ya estudió, además, debe tener en cuenta las siguientes sugerencias:

- Para ver el video utilice un monitor de televisión adecuado, mínimo de 14”.
- No oscurezca la sala en donde vea el video, así no se fatigará.
- Recuerde llevar papel y lápiz para que tome nota.
- Es conveniente que sepa manipular el control remoto del VHS o del Betamax para que pueda adelantar o retroceder en las ideas que no le sean claras.

Después de ver el video debe realizar la **Autoevaluación** que aparece a continuación del guión de contenido. Si ve el video con otros compañeros podrá realizar después una mesa redonda para discutir las respuestas, lo que lo hará más interesante y así los aportes que hagan los participantes serán valiosos.

Guión de contenido del video
«CIENCIA Y TECNOLOGÍA: DESARROLLO DEL HOMBRE»

Toda la vida del hombre actual está envuelta en la tecnología y la ciencia más avanzadas; tecnología y ciencia cristalizadas en infinidad de productos de las más variadas especies. La aceleración de progreso nos trae cada día nuevos productos, de tal manera que no alcanzamos a admirar uno de ellos cuando otro nuevo sucede, vamos perdiendo incluso nuestra capacidad de admirarnos ante el progreso técnico y científico. Sin embargo, es preciso insistir en que casi cada objeto del que nos valemos o vemos alrededor nuestro, está envuelto en un proceso de conocimientos científicos y tecnológicos que se conectan con toda la historia humana.

No fue, sin embargo, una tarea fácil la de llegar hasta nuestros prodigiosos inventos, pasaron miles de años desde la aparición del hombre sobre la tierra, para llegar a esta combinación de la ciencia y tecnología, y ante todo fue necesario que surgiera el hombre dotado de características especiales, capacidad craneana suficiente para el desarrollo del cerebro, habilidad para comunicar sus experiencias con otros, desarrollo de sus manos que le permiten utilizar herramientas, y a partir de allí, su capacidad de prolongar los diversos sentidos a través de instrumentos que adapta la naturaleza circundante.

En esta forma el proceso de la técnica es primero que el de la ciencia, se trata de acomodar inicialmente el hombre a sus circunstancias y después hacer las circunstancias propicias para el hombre. Los hombres se organizan para la caza y la recolección, domestican animales, se vuelven agricultores y con la agricultura dejan de ser parásitos de la naturaleza para comenzar a llevar a través de su acción inteligente el comando de la evolución.

La ciencia inicial va por otro camino, tratando de explicar lo que no está al alcance de las manos del hombre, comenzando por los fenómenos celestes; es una tarea que se toman hombres selectos adscritos generalmente al servicio especial de los dioses y dedicados a explicar por medio de mitos lo que aparece oscuro; son, además, hombres separados en su vida diaria, del trabajo manual de agricultores, de artesanos; van a ser los agricultores y los artesanos quienes van a poner las bases de lo que hoy podemos llamar ciencia.

La matemática o al menos la aritmética elemental surge antes que la escritura, y sirve para correlacionar conjuntos sin necesidad de tener cada vez los objetos de que se trata. Los dedos fueron el primer instrumento de conteo, después las piedrecillas, llamadas cálculo por los latinos, y los ábacos primitivos que son el origen de las modernas computadoras. Van a pasar sin embargo, miles de años hasta que podamos encontrar en la historia una elaboración realmente científica.

En la iglesia clásica de los siglos III a VI antes de la era cristiana se va a dar por primera vez un pensamiento sistemático racional, semejante al que hoy llamamos pensamiento científico. Los griegos no inventaron mucho en el orden técnico, recogieron los inventos de otros pueblos y les aplicaron racionalidad y realismo. Su ciencia partió de la experiencia común y corriente, y de su capacidad de argumentar para investigar las razones que escondían las cosas, los hechos, los procesos de la existencia; ciertamente los griegos no, fueron los únicos que entraron por el camino de la ciencia, incluso antes de ellos en la China, en la India, en Palestina, surgieron movimientos científicos, pero los griegos lograron llegar más a fondo y por ello su influjo fue más vasto y duradero en el intento de formular los problemas de la ciencia natural y de la ciencia social, y de buscar una explicación que no tuviera que salirse de la misma naturaleza. Sin embargo, los griegos siguieron separando, los científicos ocupados en la metafísica de los fenómenos de los agricultores, y artesanos dedicados al trabajo de transformación de la naturaleza.

Y finalmente, la ciencia helénica habría de derivar hacia el misticismo por esa falta de contacto con los procesos que vivía la gente común y corriente. Durante siglos el pensamiento científico se estancó o se convirtió en reflexiones y deducciones a partir de los libros sagrados de las diferentes religiones; corno dijera un escritor *de* la edad media: «la filosofía pasó a ser esclava, servidora de la teología». Los progresos técnicos durante la edad media llegaron a Europa, casi siempre desde el Oriente y con mucha frecuencia desde la lejana China, el papel, la imprenta, *el* reloj, la brújula, la pólvora, son inventos técnicos orientales, mientras que los países occidentales lograban grandes desarrollos de organización social y política que a su vez ponía las bases para un gran crecimiento económico. Son los artesanos quienes van a lograr la apertura hacia una nueva era en la historia, de la humanidad con sus progresos técnicos, con los descubrimientos geográficos, con sus nuevas formas de producir, importar de lejanas tierras e intercambiar mercancías, El mundo se ensancha con las nuevas tierras descubiertas e inventos como la versión europea de la imprenta, obra de Johann Gutemberg, desatan una reacción encadena al generalizar la lectura en la sociedad.

Los científicos se interesan en el trabajo de los artesanos y de los aitistas, los unos aportan una concepción del mundo, métodos lógicos, ideas, argumentaciones; los otros generan técnicas nuevas. Las nuevas técnicas y los descubrimientos trajeron como consecuencia el crecimiento de las aglomeraciones urbanas y la liberación de los ciervos, pero además, hicieron necesario el surgimiento de la Ciencia Experimental, y ésta a su vez condujo a nuevos y más rápidos cambios técnicos: era el comienzo de la Edad Moderna. Entre 1450 y 1690 se produce una verdadera revolución general de la técnica, la economía y la ciencia que va a generar fenómenos sociales nunca vistos hasta entonces.

La ciencia sin necesidad de no estar de acuerdo con la religión o ser atea, deja de depender de la teología y se concentra nuevamente en el mundo inmediato de los hombres. Nombres como los de Nicolás Copérnico, Galileo Galilei, Isaac Newton y sobre todo el de Francis Bacon, están en la base del cambio profundo que se produjo en la ciencia; este último planteó a comienzos del siglo XVIII, una nueva orientación para la ciencia, el **Método Experimental** relacionándola así de nuevo y de manera definitiva con el progreso del mundo de los hombres.

El método introducido por Francis Bacon une la experiencia diaria, o sea los datos con la hipótesis, cuya realidad será preciso comprobar, y con la teoría que generaliza los resultados obtenidos en el experimento. La revolución de la técnica y de la ciencia trajeron consigo en el siglo XVII las primeras revoluciones políticas en las colonias inglesas de América y después en Francia. Los siglos XIX y XX han visto cada vez más el avance de la revolución cientifico-técnica en el que el progreso del mundo y del hombre dentro de él se han acelerado mediante la aplicación combinada de la ciencia y de la técnica.

Desde la aplicación de la máquina a vapor en diversos procesos de producción, la llamada revolución industrial cambió el ritmo de los procesos de producción, y creó a su vez nuevas necesidades a las que a su vez debió responder la ciencia. Pero la ciencia, no sólo llena vacíos surgidos de las nuevas técnicas, sino que ella misma a través de la investigación genera nuevas industrias, y pone a disposición del hombre nuevos campos que hace menos de un siglo eran todavía insospechados.

La química abre nuevas posibilidades a la medicina, para el dominio de flagelos que antes causaban la muerte a miles de seres en pocos días, pero a su vez, la ciencia pone en manos del hombre instrumentos capaces de acabar con la humanidad y con todo su progreso en pocos segundos. Es el mismo riesgo que siempre han representado la inteligencia y la libertad humana, pero ahora agrandado con la disposición de inventos técnicos de poder inmenso, como son también de inmenso poder la utilización de la electricidad, el telégrafo y sus extensiones incluida la televisión, la conquista del espacio sideral y de los microorganismos; las nuevas formas de organización social y económica, la unión de la ciencia y la tecnología que son actividades propias del hombre dan por resultado un mundo que cada día puede ser más adecuado a lo que los propios hombres quieran hacer con él.

Autoevaluación

Apoyándose en el contenido del Módulo 1 y del video que acaba de ver, conteste las siguientes preguntas:

1. Haga una lista de productos fruto de la tecnología y la ciencia
2. ¿Qué características tuvo que desarrollar el hombre para llegar a la combinación de ciencia y tecnología?
3. Explique: ¿por qué la técnica se dio junto con la ciencia?
4. ¿Quiénes pusieron las bases de lo que hoy podemos llamar ciencia?
5. ¿De dónde llegaron los progresos técnicos durante la edad media?
6. ¿Qué desarrollo alcanzaron los países occidentales?
7. ¿Cuales fueron los programas técnicos que lograron los artesanos para alcanzar la apertura hacia una nueva era en la historia?
8. ¿Por qué los científicos se interesaron en el trabajo de los artesanos y de los artistas?
9. ¿Quién planteó el Método Experimental y en qué consiste?

Respuestas a la autoevaluación

1. –Las telecomunicaciones
   –Las calculadoras
   –Las computadoras
   –El cine
   –El teléfono...
2. • Capacidad craneana suficiente para el desarrollo del cerebro.
   • Habilidad para comunicar sus experiencias con otros.
   • Desarrollo de sus manos que le permiten utilizar herramientas.
   • Capacidad de prolongar sus sentidos a través de instrumentos.

3. Se trata de acomodar inicialmente al hombre a sus circunstancias y después hacer las circunstancias propicias al hombre.

4. Los agricultores y los artesanos.

5. Del Oriente y de la China.

6. Organización social y política, que a su vez propició las bases para un gran crecimiento económico.

7. • Descubrimientos geográficos
   • Nuevas formas de producir
   • Importar a lejanas tierras e intercambiar mercancías

8. Los unos aportaron una concepción del mundo, métodos lógicos, ideas, argumentaciones; los otros generaron técnicas nuevas.

9. Francis Bacon.

   Une la experiencia diaria, o sea los datos con la hipótesis cuya realidad será preciso comprobar con la teoría que generaliza los resultados obtenidos en el experimento.

Después de haber realizado la autoevaluación puede comparar sus respuestas con el guión de contenido.

Bibliografía

AGUIRRE, Carlos y REBOIS, Roland. *Ciencia, tecnología e innovación: Conceptos y prácticas*. Universidad Andina. Proyecto de Monitoreo de Nuevas Tecnologías, Sucre, (Bolivia), 1994.

ÁLVAREZ HEREDIA, Benjamín y GÓMEZ BUENDÍA, Hernando (Editores). *Ciencia y tecnología. Retos del Nuevo Orden Mundial para la capacidad de investigación en América Latina*. CIID, Instituto de Estudios Liberales, Tercer Mundo Editores, Bogotá, 1993.

BASTOS TIGRE, Paulo. *"Las tendencias internacionales en la electrónica"*. En *La Tercera Revolución Industrial*. Carlos Ominami (ed.), RIAL, Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires, 1986.

BERNAL, Campo Elías y JARAMILLO, Luis Javier. *La nueva gerencia de proyectos de ciencia y tecnología. Tipologías, roles críticos, productos finales, factores de éxito y evaluación ex - post*. Informe presentado al Centro de Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Santafé de Bogotá, diciembre de 1991.

CADENA GÓMEZ, Gabriel. *Desarrollo tecnológico en el sector cafetero colombiano*. Taller Preparatorio del Simposio del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad. Colciencias. Santafé de Bogotá. 18 de marzo de 1992.

CAÑAS, Raúl; LAVADOS, Jaime y MARCOVITCH, Jacques. *Gestión tecnológica y desarrollo*. Serie Manuales I&D. Cinda/Pund/Secab. Santiago de Chile, 1989.

CASTELLS, Peré y VALLS PASSOLA, Jaume. *Tecnología e innovación en la empresa*. Dirección y gestión. Barcelona, Edicions Universitat Politécnica de Catalunya. 1997.

CHAPARRO, Fernando. *Conocimiento, innovación y construcción de sociedad: Una agenda para la Colombia del Siglo XX*I. Santafé de Bogotá, Agosto 14 de 1998.

Ciencia, Tecnología y Desarrollo. El consenso de Brasilia. Sobre la aplicación de la ciencia y la tecnología al desarrollo de América Latina. Secretaría General de la OEA, 1972.

Ciencia, Tecnología, Desarrollo. Vol.3 No.2. Abril-Junio 1979. Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo (Viena).

COLCIENCIAS. *Desafíos en la construcción de una sociedad del conocimiento*. Informe del cuatrienio 1995 - 1998. Santafé de Bogotá, Julio de 1998.

COLCIENCIAS. *Sistema Nacional de Innovación: Nuevos escenario de la competitividad*. Ciencia y Sociedad: Colombia frente al Reto del Tercer Milenio. Santafé de Bogotá. Septiembre de 1998.

Colciencias: Motor de Desarrollo para el País en el Mundo Contemporáneo. *Carta de Colciencias*. Vol. 21, No 1, 1998, Febrero de 1998.

Colombia: Ciencia & Tecnología. La Innovación Tecnológica como Factor de Desarrollo. Trece casos exitosos. Vol. 15 No 4, Octubre - diciembre de 1997.

Colombia: Al filo de la oportunidad. Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo. Presidencia de la República. Consejería para la Modernización del Estado - Colciencias. Julio 21 de 1994.

CORCORAN, Elizabeth. *Redesigning Research*. Scientific American. June 1992.

DNP. *Panorama de la innovación tecnológica en Colombia*. 1997.

ESCARDINO BENLLOCH, Agustín. *Reflexiones sobre la I+D, la universidad y las empresas Industriales*. Universidad Jaime I. Castelló de la Plana, Setembre 27 de 1995.

ESPINAL TEJADA, Carlos. "Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB)". En Gómez Buendía, Hernando y Jaramillo, Hernán (Compiladores), *37 modos de hacer ciencia en América Latina*. Tercer Mundo Editores - Colciencias. Bogotá, enero de 1997.

FREEMAN, Christopher. *The Economics of Industrial Innovation*. Penguin Books, 1974.

FURNAS C.C. and Mc CARTHY Joe. *The Engineer, Life Science Library.Consulting Editors René Dubos, Henry Margenau y C.P Snow*. Time - Life Books, New York, 1975.

GANA, Juanita. La aparición de nuevos materiales y su impacto sobre el uso de recursos naturales. En *La Tercera Revolución Industrial*, Carlos Ominami(ed.), RIAL, Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires, 1986.

GIBBONS, Michael; LIMOGES, Camille; NOWOTNY, Helga; Schwartzman, Simon; Scott, Peter y Trow, Martin. *La nueva producción de conocimiento. La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*. Ediciones Pomares - Corredor, S.A. Barcelona, 1997.

Glosario de términos, definiciones y siglas comunes utilizadas en políticas de ciencia y tecnología. Informe Mullin presentado al DNP, Anexo 3. 1996. Basado en Systems of Innovation de Foad Shodjai, Centre for Policy Research on Science and Technology(CPROST), Simon Fraser University (Traducido por Luis Javier Jaramillo).

GONZÁLEZ Marta I, LÓPEZ CEREZO José A. y LÓPEZ Juan José. “Los Estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad”. En Javier Rodríguez Alcaraz y otros (eds.), *Ciencia, tecnología y sociedad. Contribuciones para una cultura de la paz*. Universidad de Granada, Granada, 1997.

Grupo de Lisboa. *Limites a competiçao*. Publicaçoes Europa - América. 2ª ediçao. Fundaçao Calouste Gulbenkian, Lisboa. 1994.

Investigación científica y desarrollo tecnológico: una comparación de sus características. Informe Mullin. Anexo 6. Presentado a la División de Desarrollo Tecnológico del DNP, 1996. (Traducido por Luis Javier Jaramillo).

“Japan Focuses on Basic Research to Close the Creativity Gap”. *Science & Technology*. Business Week. February 25, 1985.

JARAMILLO, Luis Javier (Coordinador). *La otra cara empresarial de Colombia. Qué hacen y cómo las empresas innovadoras en Colombia.* Tercer Mundo/Tecnos. 1997.

JARAMILLO, Luis Javier. “Difusión de Tecnología en el Japón”. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*. Bogotá, 2, (1): 1 - 146, Enero - Marzo, 1978.

JARAMILLO, Luis Javier. “La cooperación y la integración latinoamericana en ciencia y tecnología. ¿Balcanización o comunidad de esfuerzos?” En *La cooperación internacional y el desarrollo científico y tecnológico: Balance y perspectivas*. BID- CINDA - SECAB. Santiago de Chile. Diciembre de 1991.

Junta del Acuerdo de Cartagena - IDRC. *Technology Policy and Economic Development. A sumary on studies undertaken by the Board of the Cartegena Ageement for the Andean Pact Integration Process*. Otawa, 1979.

LEDERMAN, Leon M. “The Value of Fundamental Science”. *Scientific American*. November 1984. Volume 251. Number 5.

LÓPEZ CEREZO, José A. y LUJÁN, José Luis. “Ciencia y tecnología en contexto social: Un viaje a través de la controversia”. En Javier Rodríguez Alcaraz y otros(eds), *Ciencia, tecnología y sociedad, Contribuciones para una Cultura de la Paz*. Universidad de Granada. Granada. 1997.

MACHADO, Fernando M. *Technology Management for Leap-Frogging Industrial Development: The New Millenium Challenge for Developing Countries*. UNIDO, Viena, 27 June 1997.

MARGENAU, Henry; BERGAMINI, David, con la participación de redactores consultivos René Dubos,Henry Margenau y C.P. Snow. *El Científico*. Colección Científica de *Life* en español. Editado por Offset Multicolor, S.A. México, 1966.

MAYORGA, Román (Coordinador General). *Sí se puede. Casos de innovación tecnológica en América Latina*. Primer Borrador. BID/SOC/SDS. Washington, D.C., Mayo de 1997.

Mc LUHAN, Marshall. *Understanding Media: The Extensions of Man*. Signet Books. Published by The New American Library. Sixteenth Printing. Reprint of Mc Grow Hill Book Company. 1964.

NELSON, Richard and ROSENBERG, Nathan. *National Innovation Systems*, 1993.

OMINAMI, Carlos. “Tercera Revolución Industrial y Opciones de Desarrollo”. En *La Tercera Revolución Industrial. Impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. RIAL, Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires, 1986.

OSPINA T., Alberto. “La vacuna de Patarroyo contra la Malaria. Trayectoria de una idea”. *Innovación y ciencia*. Volumen III, No 1. 1994.

PATEL, Surrendra J. La dependencia tecnológica de los países en desarrollo: Un examen de los Problemas y líneas de acción. En Karl - Heinz Stanzick y Peter Schenkel(editores). *Ensayos sobre política tecnológica en América Latina*. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales. Quito, 1974.

PÉREZ, Carlota. *Desafíos sociales y políticas del cambio de paradigma tecnológico*. Ponencia en el Seminario Venezuela: Desafíos y Propuestas, con motivo del 60 Aniversario de la Revista SIC. Caracas, Febrero de 1998.

PÉREZ, Carlota. “Las nuevas tecnologías: Una visión de conjunto, en *La Tercera Revolución Industrial*, Carlos Ominami(ed.), RIAL, Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires, 1986.

POSADA FLÓREZ, Eduardo y ORTIZ RÍOS, Camilo. “Consideraciones sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología en Colombia”. En Consejo Nacional de Planeación: *El salto social. La sociedad pide cuentas*. Primera Edición. Bogotá.

POVEDA RAMOS, Gabriel. *Políticas económicas, desarrollo industrial y tecnología en Colombia 1925 - 1975*. Serie: Proyecto de Mecanismos e Instrumentos. Colciencias-Editora Guadalupe, 1976.

POVEDA RAMOS, Gabriel. “Ingeniería e historia de las técnicas”. En *Historia social de la ciencia en Colombia*. Tomo V. Colciencias. Primera edición. Marzo de 1993.

REGER, Guido and Dorothea von Wichert-Nick. “A learning organization for R&D management”. *International Journal of Technology Management*. Special Issue on R&D Management, 1997.

“Resultados e Impacto de Proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico: Algunos casos”. *Sistema Nacional de Innovación*. COLCIENCIAS. Santafé de Bogotá, Octubre de 1997.

ROCA, William M. “El papel de la biotecnología en la agricultura de los países en desarrollo”. *Innovación y Ciencia*. VOLUMEN II, No 1. Enero - Marzo de 1993.

ROTHWELL, Roy & WALTER Zegveld. *Reindustrialization and Technology*. M.E. Sharpe Inc.Armonk, New York, Longman Group Limited, 1985.

SÁBATO, Jorge A. “Bases para un Régimen de Tecnología”. En Karl-Heinz Stanzick y Peter Schenkel (editores) *Ensayos sobre política tecnológica en América Latina*. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales. Quito, 1974.

SAGASTI, Francisco. *Ciencia y tecnología para el desarrollo: Informe comparativo central del proyecto sobre Instrumentos de Política Científica y Tecnológica*. (STPI). Bogotá, CIID, 1978.

SAREWITZ, Daniel. *Frontiers of Illusion. Science, Technology and the Politics of Progress*. Temple University Press. Philadelphia, 1996.

SEBASTIÁN, Jesús. *Cooperación internacional en ciencia y tecnología*. II Curso Iberoamericano para Administradores de Ciencia y Tecnología. México. Nov.23 a Dic. 4 de 1998. Organización de Estados Iberoamericanos.

SHARIF, Nawaz (Editor). *Technology Policy Formulation and Planning. A Reference Manual*. Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology. Bangalore, India, 1986.

SOUDER, WM.E, J. Daniel Sherman. *Managing New Technology Development*. Mc Graw-Hill, Inc. 1994.

UNCSTD-UNCTAD-COLCIENCIAS. *Productividad, innovación y desarrollo tecnológico en Colombia: Situación actual y políticas de fomento*. Informe Preparatorio para la Misión de Evaluación. Ejercicio de evaluación de la política de innovación tecnológica y de desarrollo científico en Colombia. Santafé de Bogotá, Junio de 1996.

VAITSOS V., Constantino. *Comercialización de tecnología en el Pacto Andino*. América - problema (6). Instituto de Estudios Peruanos. Lima, 1973.

YOUNG, Norton. *Desarrollo de tecnologías autóctonas*. En Seminario sobre Transferencia e Innovación de Ciencia y Tecnología. Instituto de Integración Cultural. Editorial Bedout. Medellín, 1972.